



# Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: АГРОНОМИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО

2025 Том 20 № 4

DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-4  
agrojournal.rudn.ru

Научный журнал  
Издается с 2006 г.

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи,  
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-61171 от 30.03.2015 г.

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»

## Главный редактор

**Ватников Ю.А.**, д-р вет. наук,  
проф., директор департамента  
ветеринарной медицины АТИ,  
РУДН, Москва, Российская  
Федерация  
**E-mail:** vatnikov-yua@rudn.ru

## Заместитель главного редактора

**Пакина Е.Н.**, д-р биол. наук,  
директор Агробиотехнологического  
департамента АТИ, РУДН, Москва,  
Российская Федерация  
**E-mail:** pakina-en@rudn.ru

## Ответственный секретарь

**Куликов Е.В.**, канд. биол. наук,  
доц. департамента ветеринарной  
медицины АТИ, РУДН, Москва,  
Российская Федерация  
**E-mail:** kulikov-ev@rudn.ru

## Члены редакционной коллегии

**Азизи С.**, д-р биол. наук, проф., Университет Шахида Бахонара в Кермане, Керман, Иран  
**Астарханова Т.С.**, д-р с.-х. наук, проф., РУДН, Москва, РФ  
**Валентини Р.**, д-р биол. наук, проф., лауреат Нобелевской премии мира (2007), Университет Тушини, Витербо, Италия  
**Васильев А.А.**, д-р биол. наук, проф., МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина, Москва, РФ  
**Гисн М.С.**, д-р биол. наук, чл.-кор. РАН, проф., ФНЦО Овощеводства РАН, Московская обл., РФ  
**Довлетярова Э.А.**, д-р биол. наук, проф., РУДН, Москва, РФ  
**Долженко В.И.**, д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., ФГБНУ ВНИИЗР, Пушкин, Санкт-Петербург, РФ  
**Донник И.М.**, д-р биол. наук, проф., академик РАН, Российская академия наук, Москва, РФ  
**Дубенок Н.Н.**, д-р с.-х. наук, проф., академик РАН, РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, РФ  
**Дускаев Г.К.**, д-р биол. наук, проф., проф. РАН, ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН, Оренбург, РФ  
**Егоров И.А.**, д-р биол. наук, академик РАН, проф., ФНЦ «ВНИТИП» РАН, Сергиев Посад, РФ  
**Еланский С.Н.**, д-р биол. наук, проф., МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, РФ  
**Забережный А.Д.**, д-р биол. наук, чл.-кор. РАН, проф., ФГБНУ ВНИТИБП, Московская обл., РФ  
**Завалин А.А.**, д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», Москва, РФ  
**Заргар М.**, канд. с.-х. наук, доц., РУДН, Москва, РФ  
**Игнатов А.Н.**, д-р биол. наук, проф., РУДН, Москва, РФ  
**Ковеос Д.**, PhD, проф., Университет Аристотеля г. Салоники, Салоники, Греция  
**Кощаев А.Г.**, д-р биол. наук, чл.-кор. РАН, проф., КубГАУ, Краснодар, РФ  
**Котарев В.И.**, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ВНИВИПФиТ», Воронеж, РФ  
**Кузяков Я.В.**, д-р биол. наук, проф., Гёттингенский университет им. Георга-Августа, Геттинген, Германия  
**Ленченко Е.М.**, д-р вет. наук, проф., ФГБОУ ВО «МГУПП», Москва, РФ  
**Мохаммади-Недждат Г.**, д-р биол. наук, проф., Университет Шахида Бахонара в Кермане, Керман, Иран  
**Никитченко Д.В.**, д-р биол. наук, проф., ОМПК, Москва, РФ  
**Новиков А.Е.**, д-р тех. наук, доц., ВолГТУ, Волгоград, РФ  
**Овчинников А.С.**, д-р с.-х. наук, чл.-кор. РАН, ВолГАУ, Волгоград, РФ  
**Пивоваров В.Ф.**, д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., ФГБНУ ФНЦО, Московская обл., РФ  
**Пименов Н.В.**, д-р биол. наук, проф., проф. РАН, МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина, Москва, РФ  
**Плескачев Ю.Н.**, д-р с.-х. наук, проф., ФИЦ «Немчиновка», Московская обл., РФ  
**Плющиков В.Г.**, д-р с.-х. наук, проф., РУДН, Москва, РФ  
**Соловьев А.А.**, д-р биол. наук, проф. РАН, проф., ФГБНУ ВНИИСБ, Москва, РФ  
**Сычѳев В.Г.**, д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», Москва, РФ  
**Ткачев А.В.**, д-р с.-х. наук, доц., РУДН, Москва, РФ  
**Уша Б.В.**, д-р вет. наук, заслуж. деятель науки и техники РФ, академик РАН, МГУПП, Москва, РФ  
**Юдишбаев Ю.А.**, д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, РФ  
**Юсефи М.**, канд. биол. наук, доц., РУДН, Москва, РФ

**Вестник Российского университета дружбы народов.**  
**Серия: АГРОНОМИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО**

ISSN 2312–797X (Print); 2312–7988 (Online)

4 выпуска в год (ежеквартально)

<http://agrojournal.rudn.ru> e-mail: [agroj@rudn.ru](mailto:agroj@rudn.ru)

Языки: русский, английский.

Индексируется в РИНЦ (НЭБ), RSCI, Cyberleninka, DOAJ, CAB, AGRIS, Ulrich's Periodicals Directory.

**Цели и тематика.** Журнал «Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство» — периодическое рецензируемое научное издание в области сельского хозяйства. Журнал является международным как по составу авторов и тематике публикаций, отражающей проблематику научных исследования в различных регионах мира, так и по составу редакционной коллегии и экспертного совета (рецензентов). Журнал предназначен для публикаций результатов фундаментальных и прикладных научных исследований российских и зарубежных ученых в виде оригинальных научных статей, обзорных научных материалов, научных сообщений, библиографических обзоров по определенным темам научных исследований. Также журнал публикует и распространяет результаты фундаментальных и прикладных исследований, проводимых в коллаборации отечественных и зарубежных ученых по приоритетным проблемам сельскохозяйственной отрасли. В журнале могут быть опубликованы материалы, научная ценность которых и пригодность для публикации оценена рецензентами и редакционной коллегией журнала. Во всех материалах должны соблюдаться этические нормы научных публикаций.

Редакционная коллегия принимает к рассмотрению материалы по направлениям: агрономия, животноводство, ветеринария, зоотехния, ветеринарно-санитарная экспертиза, техносферная безопасность, землеустройство и кадастры, ландшафтная архитектура — для подготовки тематических выпусков с участием приглашенных редакторов.

Журнал рекомендован диссертационными советами РУДН; входит в перечень изданий, публикации которых учитываются Высшей аттестационной комиссией России (ВАК РФ) при защите диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук по специальностям: 1.5.9. Ботаника (сельскохозяйственные науки), 1.5.19. Почвоведение (сельскохозяйственные науки), 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (биологические науки, сельскохозяйственные науки), 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология (сельскохозяйственные науки, биологические науки), 4.1.3. Агротехника, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки, биологические науки), 4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика (биологические науки, сельскохозяйственные науки), 4.2.1. Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология (ветеринарные науки, биологические науки), 4.2.3. Инфекционные болезни и иммунология животных (ветеринарные науки), 4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства (сельскохозяйственные науки, биологические науки).

Требования к статьям и правила рецензирования, электронный архив в открытом доступе и иная дополнительная информация размещены на сайте журнала: <http://agrojournal.rudn.ru>

---

Редактор *О.В. Горячева*

Редактор англоязычных текстов *М.И. Яблонская, В.М. Бяхова*

Компьютерная верстка *М.В. Рогова*

**Адрес редакции:**

115419, Москва, Россия, ул. Орджоникидзе, д. 3

Тел.: +7 (495) 955-07-16; e-mail: [publishing@rudn.ru](mailto:publishing@rudn.ru)

**Почтовый адрес редакции**

117198, Москва, Россия, ул. Миклухо-Маклая, д. 8, корп. 2

Тел.: +7 (495) 434-70-07; e-mail: [agroj@rudn.ru](mailto:agroj@rudn.ru)

Подписано в печать 25.12.2025. Выход в свет 27.12.2025. Формат 70×108/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитуры Tinos, Roboto.

Усл. печ. л. 15,05. Тираж 500 экз. Заказ № 1666. Цена свободная.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН)

117198, Москва, Россия, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

Отпечатано в типографии ИПК РУДН

115419, Москва, Россия, ул. Орджоникидзе, д. 3

Тел.: +7 (495) 955-08-61; [publishing@rudn.ru](mailto:publishing@rudn.ru)



# RUDN JOURNAL OF AGRONOMY AND ANIMAL INDUSTRIES

2025 VOLUME 20 No. 4

DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-4

[agrojournal.rudn.ru](http://agrojournal.rudn.ru)

Founded in 2006

**Founder: PEOPLES' FRIENDSHIP UNIVERSITY OF RUSSIA NAMED AFTER PATRICE LUMUMBA**

## EDITOR-IN-CHIEF

*Yuriy A. Vatnikov,*

D.Sc. in Veterinary Medicine, Professor,  
Director of Department of Veterinary  
Medicine, Agrarian and Technological  
Institute, RUDN University, Moscow,  
Russian Federation

**E-mail:** [vatnikov-yua@rudn.ru](mailto:vatnikov-yua@rudn.ru)

## DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

*Elena N. Pakina,*

D.Sc. in Biology, Director of  
Agrobiotechnology Department,  
Agrarian and Technological Institute,  
RUDN University, Moscow, Russian  
Federation

**E-mail:** [pakina-en@rudn.ru](mailto:pakina-en@rudn.ru)

## EXECUTIVE SECRETARY

*Evgeniy V. Kulikov,*

Ph.D. in Biology, Associate Professor,  
Department of Veterinary Medicine,  
Agrarian and Technological Institute,  
RUDN University, Moscow, Russian  
Federation

**E-mail:** [kulikov-ev@rudn.ru](mailto:kulikov-ev@rudn.ru)

## EDITORIAL BOARD MEMBERS

*Sonia Agigi* — D. Sc. in Biology, Professor, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

*Tamara S. Astarkhanova* — D. Sc. in Agriculture, Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation

*Victor I. Dolzhenko* — D. Sc. in Agriculture, Academician of the RAS, Professor, All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg-Pushkin, Russian Federation

*Irina M. Donnik* — D. Sc. in Biology, Professor, Academician of the RAS, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

*Elvira A. Dovletyarova* — D. Sc. in Biology, Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation

*Nikolai N. Dubenok* — D. Sc. in Agriculture, Professor, Academician of the RAS, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

*Galimzhan K. Duskaev* — D. Sc. in Biology, Professor, Professor of the RAS, Federal Scientific Center biological systems and agricultural technologies RAS, Orenburg, Russian Federation

*Ivan A. Egorov* — D. Sc. in Biology, Academician of the RAS, Professor, Head of the Scientific Direction of Poultry Nutrition, All-Russian Research and Technological Poultry Institute of RAS, Sergiev Posad, Russian Federation

*Sergey N. Elansky* — D. Sc. in Biology, Professor, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

*Murat S. Gins* — D. Sc. in Biology, Corresponding Member of the RAS, Professor of the RAS, Federal Scientific Center for Vegetable Growing of the RAS, Moscow Region, Russian Federation

*Alexander N. Ignatov* — D. Sc. in Biology, Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation

*Andrey G. Koshaev* — D. Sc. in Biology, Corresponding Member of the RAS, Professor of the RAS, Professor, Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation

*Vyacheslav I. Kotarev* — D. Sc. in Agriculture, Professor, All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy, Voronezh, Russian Federation

*Dimtrios Koveos* — PhD, Professor, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece

*Yakov V. Kuzyakov* — Doctor of Biological Sciences, Professor, University of Göttingen, Göttingen, Germany

*Ekaterina M. Lenchenko* — D. Sc. in Veterinary Medicine, Professor, Moscow State University of Food Production, Moscow, Russian Federation

*Ghasem Mohammadi-Nejad* — PhD, Professor, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

*Dmitry V. Nikitchenko* — D. Sc. in Biology, Professor, Ostankino Meat Processing Plant, Moscow, Russian Federation

*Andrey E. Novikov* — D. Sc. in Technology, Associate Professor, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation

*Aleksey S. Ovchinnikov* — D. Sc. in Agriculture, Corresponding Member of the RAS, Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russian Federation

*Nikolai V. Pimenov* — D. Sc. in Biology, Professor, Professor of the RAS, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, Moscow, Russian Federation

*Viktor F. Pivovarov* — D. Sc. in Agriculture, Academician of the RAS, Professor, Federal Scientific Center for Vegetable Growing of the RAS, Moscow Region, Russian Federation

*Yury N. Pleskachev* — D. Sc. in Agriculture, Professor, Nemchinovka Federal Research Center, Moscow Region, Russian Federation

*Vadim G. Plyushchikov* — D. Sc. in Agriculture, Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation

*Alexander A. Solovyov* — D. Sc. in Biology, Professor of the RAS, Professor, All-Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russian Federation

*Victor G. Sychev* — D. Sc. in Agriculture, Academician of the RAS, Professor, Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Moscow, Russian Federation

*Alexander V. Tkachev* — D. Sc. in Agriculture, Associate Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation

*Boris V. Usha* — D. Sc. in Veterinary Medicine, Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Academician of the RAS, Moscow State University of Food Production, Moscow, Russian Federation

*Riccardo Valentini* — D. Sc. in Biology, Professor, Nobel Peace Prize Laureate (2007), University of Tuscia, Viterbo, Italy

*Aleksey A. Vasiliev* — D. Sc. in Biology, Professor, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, Moscow, Russian Federation

*Morteza Yousefi* — Ph.D. in Biology, Associate Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation

*Yusupzhan A. Yuldashbaev* — D. Sc. in Agriculture, Academician of the RAS, Professor, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

*Aleksey D. Zaberezhny* — D. Sc. in Biology, Corresponding Member of the RAS, Professor, All-Russian Research and Technological Institute of Biological Industry, Moscow Region, Russian Federation

*Meisam Zargar* — Ph.D. in Agriculture, Associate Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation

*Aleksey A. Zavalin* — D. Sc. in Agriculture, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Moscow, Russian Federation

**RUDN JOURNAL OF AGRONOMY AND ANIMAL INDUSTRIES**  
**Published by the Peoples' Friendship University of Russia**  
**named after Patrice Lumumba (RUDN University),**  
**Moscow, Russian Federation**

**ISSN 2312–797X (Print); 2312–7988 (Online)**

Publication frequency: Quarterly

<http://agrojournal.rudn.ru> e-mail: [agroj@rudn.ru](mailto:agroj@rudn.ru)

Languages: Russian, English

Indexed/abstracted by Russian Index of Science Citation, RSCI, Cyberleninka, DOAJ, CABI, AGRIS, Ulrich's Periodicals Directory.

**Aims and Scope**

*RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries* is a peer-reviewed periodical covering the latest research in the field of Agricultural Sciences. The journal is international with regard to its editorial board, contributing authors and thematic foci of the publications reflecting problems of various regions in the world.

The journal publishes original results of Russian and foreign scientific researchers and welcomes research articles, review articles, scientific reports, and bibliographic researches. The journal also publishes and disseminates the results of fundamental and applied research conducted by international collaborations of scientists on the priority problems of the agricultural sector.

The most common topics include Agronomy, Animal industries, Veterinary, Veterinary-sanitary expertise, Land use planning and cadaster, Landscape architecture.

The editors are open to thematic issue initiatives with guest editors. Submitted papers are evaluated by independent reviewers and the Editorial Board members specialized in the article field. All materials must comply with the ethical standards of scientific publications.

In order to expand our readership, we present our journal at scientific conferences, including the annual international conference "Innovation Processes in Agriculture", which is traditionally held at the base of the Agrarian Technological Institute of RUDN University. Each year the conference attracts many agrarian specialists from different parts of the world and continents: Europe, Asia, Africa, North and South America.

Full information for authors, reviewers, and readers (open access to electronic versions and subscription to print editions) can be found at <http://agrojournal.rudn.ru>

---

Editor *O.V. Goryacheva*  
English text editor *M.I. Yablonskaya, V.M. Byakhova*  
Computer design *M.V. Rogova*

**Address of the Editorial Board:**  
3 Ordzhonikidze St, 115419 Moscow, Russian Federation  
Ph.: +7 (495) 955-07-16; e-mail: [publishing@rudn.ru](mailto:publishing@rudn.ru)

**Postal Address of the Editorial Board:**  
8 Miklukho-Maklaya St, bldg 2, 117198 Moscow, Russian Federation  
Ph.: +7 (495) 434-70-07; e-mail: [agroj@rudn.ru](mailto:agroj@rudn.ru)

Printing run 500 copies. Open price

Peoples' Friendship University of Russia Named After Patrice Lumumba (RUDN University)  
6 Miklukho-Maklaya St, 117198 Moscow, Russian Federation

**Printed at RUDN Publishing House:**  
3 Ordzhonikidze St, 115419 Moscow, Russian Federation  
Ph.: +7 (495) 955-08-61; e-mail: [publishing@rudn.ru](mailto:publishing@rudn.ru)

## Содержание

От редакции .....517

### Растениеводство

- Романова Е.В., Гинс М.С., Гинс В.К., Кезимана П., Тчуда Лопеш Мам Э.  
Интродукция и биохимический состав *Chrysanthemum coronarium* L.  
в условиях Нечерноземья.....521
- Сидаренко Д.П., Сидаренко П.В. Состояние и прогноз изменения площадей  
под овощными культурами и капельным поливом в Республике Крым .....531
- Широкова М.С., Гришин А.А., Дорохов А.А., Павлова Е.В., Уютова Н.И.  
Влияние света на скорость роста, развитие и урожайность ярового рапса .....545
- Кузыченко Ю.А. Возделывание сои по технологии Strip-Till в условиях  
Предкавказья .....566

### Генетика и селекция растений

- Петин В.А., Лепехов С.Б., Лапочкина И.Ф., Гайнуллин Н.Р. Идентификация  
генов устойчивости к листовой и стеблевой ржавчине у селекционных линий  
яровой мягкой пшеницы из вторичного генофонда коллекции «Арсенал» .....577

### Почвоведение и агрохимия

- Лосев А.И., Васенев В.И., Бережной Е.Д., Сотникова Ю.Л.  
Оценка плодородия почв арктических городов с применением  
почвенно-экологического индекса .....589
- Кременецкая И.П., Слуковская М.В., Иванова Л.А., Ярцева М.А.,  
Иванова Т.К. Агрохимическая оценка влияния вермикулита на снижение  
подвижности ионов аммония.....606

### Ветеринария

- Исакова М.Н., Безбородова Н.А., Лысова Я.Ю., Опарина О.Ю.  
Применение разных методов исследования секрета молочной железы коров  
при диагностике мастита.....618
- Лаптев С.В., Селина М.В. Особенности возникновения, распространения,  
диагностики, патогенеза и лечения инфекционного перитонита кошек.....635

**Пантюлин А.М., Вилковыский И.Ф.** Методологическая основа имплантации бесцементного бедренного компонента эндопротеза тазобедренного сустава у собак ..... 645

**Семенов Б.С., Назарова А.В., Кузнецова Т.Ш.** Сравнительная эффективность применения мультикиназных ингибиторов при терапии плоскоклеточного рака у кошек..... 658

**Шульга И.С., Остякова М.Е.** Влияние родиолы розовой и левзеи сафлоровидной на резистентность *E. coli* к антибиотикам ..... 670

## Contents

From the editorial.....517

### Crop production

Romanova E.V., Gins M.S., Gins V.K., Kesimana P., Tchuda Lopes Mam E.  
Introduction and biochemical composition of *Chrysanthemum coronarium* L.  
in Non-Chernozem regions.....521

Sidarenko D.P., Sidarenko P.V. Status and forecast of changes in areas under  
vegetable crops and drip irrigation in the Republic of Crimea. ....531

Shirokova M.S., Grishin A.A., Dorokhov A.A., Pavlova E.V., Uytova N.I.  
Effect of light on growth rate, development and yield of spring rapeseed.....545

Kuzychenko Y.A. Cultivation of soybeans using Strip-Till technology  
in the Pre-Caucasian region .....566

### Genetics and plant breeding

Petin V.A., Lepekhov S.B., Lapochkina I.F., Gainullin N.R. Identification of genes  
for resistance to leaf and stem rust in breeding lines of spring common wheat from  
the secondary gene pool of Arsenal collection.....577

### Soil science and agrochemistry

Losev A.I., Vasenev V.I., Berezhnoy E.D., Sotnikova Yu.L. Assessing soil fertility  
in Arctic cities using a soil-ecological index .....589

Kremenetskaya I.P., Slukovskaya M.V., Ivanova L.A., Yartseva M.A.,  
Ivanova T.K. Agrochemical assessment of the effect of vermiculite on reducing  
ammonium ion mobility .....606

### Veterinary science

Isakova M.N., Bezborodova N.A., Lysova Ya.Yu., Oparina O.Yu. Application  
of various methods for studying the secretion of the bovine mammary gland  
in the diagnosis of mastitis .....618

Laptev S.V., Selona M.V. Features of the occurrence, spread, diagnosis, pathogenesis  
and treatment of infectious feline peritonitis.....635

**Pantiulin A.M., Vilkovskiy I.F.** Methodological basis for implantation of a cementless femoral component in canine total hip replacement ..... 645

**Semenov B.S., Nazarova A.V., Kuznetsova T.Sh.** Comparative efficacy of multikinase inhibitors in the treatment of squamous cell carcinoma in cats ..... 658

**Shulga I.S., Ostyakova M.E.** The effect of *Rhodiola Rosea* and *Leuzea carthamoides* on the antibiotic resistance of *E. coli*..... 670



## От редакции From the editorial

DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-517-520

EDN BJCDTI

### Журналу «Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство» 20 лет

«Вестник Российского университета дружбы народов» основан в 1993 г., где 1 раз в год выпускалась серия «Сельскохозяйственные науки»: поочередно в одном году — «Агрономия», в другом — «Животноводство». За выпуск журнала отвечала редакционная коллегия, сформированная на аграрном факультете и утвержденная ректором РУДН, главным редактором был назначен известный ученый в области биофизики В.В. Горчаков, кандидат биологических наук, профессор, декан сельскохозяйственного факультета. Первыми авторами журнала становились ученые РУДН, положившие тот прочный фундамент, который позволяет осуществлять постоянное движение вперед, не останавливаясь на достигнутом. За годы становления и развития «Вестника» были удачи и ошибки, споры о качестве и приоритетности публикаций, актуальности, постоянный поиск востребованности, интереса, доступности, обеспечения подписки. Журнал развивался вместе со страной, живя в духе времени и отражения объективных научных знаний на своих страницах.

Многое начало меняться с 2005 г., в этот период журнал возглавил доктор сельскохозяйственных наук, профессор В.Г. Плющиков. К тому времени уже сформировалась самостоятельная серия по сельскохозяйственным наукам в составе «Вестника РУДН», в 2006 г. переименованная в серию «Агрономия и животноводство». Статьи в выпусках распределялись по предметным рубрикам. А в 2015 г. РУДН как учредитель зарегистрировал серию в Роскомнадзоре в качестве самостоятельного СМИ под названием «Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство» с периодичностью 4 выпуска в год. Журнал был включен в Перечень ВАК с 2016 г. и редакция ввела двойное слепое рецензирование научных статей, поступающих от авторов, актуализированы требования к авторским материалам с учетом российских и международных стандартов. Большую работу в формировании научного имиджа журнала выполнили зам. главного редактора профессор, доктор ветеринарных наук В.Е. Никитченко, ответственный секретарь доцент А.А. Терехин и координатор деятельности по развитию и поддержке научных журналов РУДН О.Е. Горячева. Впоследствии была проведена огромная работа по автоматизации приема статей и рецензирования,

взаимодействию с авторами и издательством, журнал приобрел свой собственный сайт на Портале научных журналов РУДН.

В 2017 г. редакция подала заявку и в течение 2 лет журнал был в числе грантополучателей конкурса Минобрнауки России по развитию научных журналов, что способствовало его дальнейшему продвижению и росту авторитета в научно-профессиональном сообществе. Так, журнал с 2017 г. включен в авторитетную международную БД журналов открытого доступа DOAJ (метаданные всех публикаций с 2008 г.), затем публикации журнала стали индексировать такие международные ресурсы научной информации, как CAB Abstracts (CABI Digital Library) и Agris (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Журнал входит в БД RSCI.

В 2021 г. редакцию журнала возглавил доктор ветеринарных наук, профессор Ю.А. Ватников, сформировавший новый международный состав редколлегии, куда вошли известные ученые академики и член-корреспонденты РАН, представители ведущих российских и зарубежных научных и образовательных центров. С 2023 г. журнал включен в Белый список российских научных журналов РЦНИ, а в 2025 г. полнотекстовый архив журнала был представлен на Национальной платформе научных периодических изданий РЦНИ. По итогам 2025 г. «Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство» отнесен:

– ко 2-й категории Перечня ВАК, но приравнивается к категории 1, так как индексируется в RSCI;

– 2-му уровню в Белом списке.

Сегодня, наш журнал представляет актуальный срез отечественной науки и практики, где в предметных рубриках находят свое отражение труды начинающих и уже маститых исследователей, на профессиональном уровне идет передача новых знаний, технологий, опыта. В авторитетно отобранном материале аспиранты черпают то важное и необходимое, что дает им возможность двигаться вперед, базирясь на выверенных строках статей своих наставников и учителей. В различные годы на страницах нашего журнала, увидели свет публикации выдающихся ученых, таких как: В.П. Звалинский, А.В. Долженко, Н.Н. Дубенок, И.И. Кочиш, Ю.А. Юлдашбаев, И.Ю. Савин, чей вклад в российскую науку невозможно переоценить.

В журнале публикуются результаты фундаментальных и прикладных исследований, а также обзорные статьи российских и зарубежных ученых по актуальным направлениям биологических, ветеринарных, сельскохозяйственных наук. Большое внимание сосредоточено на узкопрофильном рецензировании поступающих статей. Редакционная коллегия журнала, состоящая из высококвалифицированных ученых, представителей известных школ, отбирает к публикации наиболее качественные, отличающиеся достоверностью и высокоинтеллектуальным уровнем изложения материалы. Кропотливая работа всего редакционного коллектива, внимательное и бережное отношение к авторам, открытость и доверие, поддержание обратной связи — все это позволяет поддерживать профессиональный уровень нашего издания, вносить значимый вклад в современную методологию аграрной науки и практики.

*Главный редактор, Ю.А. Ватников*

---

## ENG

---

### **The RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries celebrates its 20th anniversary**

The RUDN Journal was founded in 1993, publishing the “Agricultural Sciences” series annually: alternating between “Agronomy” one year and “Animal Husbandry” the next. The journal’s publication was overseen by an editorial board formed at the Faculty of Agriculture and approved by the Rector of RUDN University. The renowned biophysicist V.V. Gorchakov, PhD in Biology, professor, and dean of the Faculty of Agriculture, was appointed editor-in-chief. The journal’s first authors were RUDN University scientists, who laid the solid foundation that allows for constant progress and never resting on our laurels. Over the years of the journal’s formation and development, there were successes and failures, debates about the quality and priority of publications, relevance, and a constant search for demand, interest, accessibility, and subscription support. The journal evolved along with the country, living in the spirit of the times and reflecting objective scientific knowledge on its pages.

Significant changes began in 2005, when the journal was headed by Doctor of Agricultural Sciences, Professor V.G. Plyushchikov. By that time, an independent series on agricultural sciences had already formed within the “RUDN University Journal”, renamed in 2006 to the “Agronomiya i zhivotnovodstvo” (Agronomy and Animal Industries) series. Articles in the issues were divided into subject headings. And in 2015, RUDN University, as the founder, registered the series with Roskomnadzor as an independent media outlet under the name “Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo” (RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries), published four issues per year. The journal was included in the list of peer-reviewed scientific publications recommended by the Higher Attestation Commission of the Russian Federation in 2016, and the editorial board introduced double-blind peer review of scientific articles submitted by authors. Requirements for author materials were updated to reflect Russian and international standards. Significant work in shaping the journal’s scientific image was done by Deputy Editor-in-Chief Professor V.E. Nikitchenko, Doctor of Veterinary Sciences; Executive Secretary Associate Professor A.A. Terekhin; and Coordinator of RUDN University Scientific Journal Development and Support Activities O.E. Goryacheva. Subsequently, extensive work was carried out to automate article submission and review, interact with authors and the publisher, and the journal acquired its own website on the RUDN University Scientific Periodicals Portal.

In 2017, the editorial board submitted an application and, for two years, the journal was among the grant recipients of the Russian Ministry of Education and Science’s competition for the development of scientific journals, which contributed to its further

promotion and increased authority in the scientific and professional community. Thus, since 2017, the journal has been included in the authoritative international open-access journal database DOAJ (metadata for all publications since 2008). Then, the journal's publications began to be indexed by such international scientific information resources as CAB Abstracts (CABI Digital Library) and Agris (Food and Agriculture Organization of the United Nations). The journal is included in the RSCI database.

In 2021, Doctor of Veterinary Sciences, Professor Yu.A. Vatnikov became the head of the journal's editorial board, forming a new international editorial board consisting of renowned scientists, academicians and corresponding members of the Russian Academy of Sciences, and representatives of leading Russian and international scientific and educational centers. Since 2023, the journal has been included in the White List of Russian scientific journals of the Russian Center for Scientific Research, and in 2025, the full-text archive of the journal was made available on the National Platform of Scientific Periodicals of the Russian Center for Scientific Research. Based on the 2025 results, "RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries" was classified:

- as Category 2 of the Higher Attestation Commission List, but is equivalent to Category 1, as it is indexed in the RSCI;
- as Level 2 of the White List.

Today, our journal represents a current cross-section of Russian science and practice, where subject headings reflect the work of both emerging and established researchers. At a professional level, it facilitates the transfer of new knowledge, technologies, and experience. In the authoritatively selected material, graduate students find the essential and necessary elements that enable them to move forward, building upon the verified content of articles by their mentors and teachers. Over the years, our journal has published works by outstanding scientists such as V.P. Zvalinsky, A.V. Dolzhenko, N.N. Dubenok, I.I. Kochish, Yu.A. Yuldashbaev, and I.Yu. Savin, whose contributions to Russian science cannot be overestimated.

The journal publishes the results of fundamental and applied research, as well as review articles by Russian and international scientists on current areas of biological, veterinary, and agricultural sciences. Much attention is paid to specialized peer review of incoming articles. The journal's editorial board, comprised of highly qualified scientists representing renowned schools, selects the highest-quality, reliable, and intellectually advanced materials for publication. The meticulous work of the entire editorial team, their attentive and caring attitude toward authors, their openness and trust, and their ongoing feedback — all of this allows us to maintain the professional level of our publication and make a significant contribution to modern agricultural science and practice.

*Editor-in-Chief, Yu.A. Vatnikov*



# Растениеводство Crop production

DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-521-530

EDN BMSRPR

УДК 635.49

Обзорная статья / Review article

## Интродукция и биохимический состав *Chrysanthemum coronarium* L. в условиях Нечерноземья

Е.В. Романова<sup>1</sup>  , М.С. Гинс<sup>1, 2</sup> , В.К. Гинс<sup>2</sup> ,  
П. Кезимана<sup>1</sup> , Э. Тчуда Лопеш Мам<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>Федеральный научный центр овощеводства, Московская обл., Российская Федерация

 romanova-ev@rudn.ru

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы интродукции и адаптации овощной хризантемы (*Chrysanthemum coronarium* L.) в условиях Нечерноземной зоны Российской Федерации. Основное внимание уделено изучению биохимического состава растения, его пищевой ценности и фармакологическим свойствам. Представлены экспериментальные данные авторов и обзорная информация о высоком содержании витаминов, минералов, антиоксидантов и других биологически активных веществ, таких как флавоноиды и аминокислоты. Рассмотрены особенности влияния условий выращивания, включая режим освещения и солевой стресс, на накопление полезных компонентов в растениях. Подчеркнута важность дальнейших исследований для оптимизации агротехнических приемов и экономической оценки перспективности выращивания хризантемы увенчанной в Нечерноземье России.

**Ключевые слова:** хризантема овощная, флавоноиды, аминокислоты, антиоксидантная активность, условия выращивания, агротехника

**Вклад авторов:** Романова Е.В. — концепция и дизайн исследования, сбор материалов, анализ информации, написание текста; Гинс М.С. — концепция исследований, общее руководство научной работой; Гинс В.К. — концепция исследований; Кезимана П. — сбор материалов, анализ информации; Тчуда Лопеш Мам Э. — сбор материалов. Все авторы ознакомились с окончательной версией рукописи и одобрили ее.

**Заявление о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© Романова Е.В., Гинс М.С., Гинс В.К., Кезимана П., Тчуда Лопеш Мам Э., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

**История статьи:** поступила в редакцию 17 марта 2025 г., принята к публикации 15 октября 2025 г.

**Для цитирования:** Романова Е.В., Гинс М.С., Гинс В.К., Кезимана П., Тчуда Лопеш Мам Э. Интродукция и биохимический состав *Chrysanthemum coronarium* L. в условиях Нечерноземья // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 4. С. 521–530. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-521-530 EDN: BMSRPR

## Introduction and biochemical composition of *Chrysanthemum coronarium* L. in Non-Chernozem regions

Elena V. Romanova<sup>1</sup>  , Murat S. Gins<sup>1,2</sup> , Valentina K. Gins<sup>2</sup> ,  
Parfait Kesimana<sup>1</sup> , Erickson Tchuda Lopes Mam<sup>1</sup>

<sup>1</sup>RUDN University, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Federal Scientific Center for Vegetable Growing, Moscow region, Russian Federation

 romanova-ev@rudn.ru

**Abstract.** This study discusses the introduction and adaptation of edible chrysanthemum (*Chrysanthemum coronarium* L.) in the Non-Chernozem Zone of the Russian Federation. The focus is on studying the plant's biochemical composition, nutritional value, and pharmacological properties. Data on high content of vitamins, minerals, antioxidants, and other bioactive substances such as flavonoids and amino acids are presented. The influence of growing conditions, including lighting regimes and salt stress, on the accumulation of beneficial components in the plant is examined. The importance of further research to optimize agricultural practices and assess the economic viability of cultivating *Chrysanthemum coronarium* L. in this region is emphasized.

**Keywords:** edible chrysanthemum, flavonoids, amino acids, antioxidant activity, growing conditions, cultural practices

**Authors' contribution:** Romanova E.V. — research concept and design, material collection, information analysis, manuscript writing; Gins M.S. — research concept, general supervision of scientific work; Gins V.K. — research concept; Kesimana P. — material collection, information analysis; Tchuda Lopes Mam E. — material collection. All authors reviewed the final version of the manuscript and approved it.

**Conflict of interests.** The authors declared no conflict of interests.

**Article history:** received 17 March 2025; accepted 15 October 2025.

**For citation:** Romanova EV, Gins MS, Gins VK, Kesimana P, Tchuda Lopes Mam E. Introduction and biochemical composition of *Chrysanthemum coronarium* L. in Non-Chernozem regions. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(4):521–530. doi: 10.22363/2312-797X-2026-20-4-521-530 EDN: BMSRPR

### Введение

Расширение ассортимента овощных культур в Нечерноземье — задача первоочередной важности для обеспечения продовольственной безопасности региона. Климатические условия и короткий вегетационный период диктуют необходимость поиска холодостойких и быстрозревающих растений, способных адаптироваться к сложным условиям выращивания. В связи с этим для рискованной зоны земледелия актуальны исследования, направленные на изучение способности интродуцируемой культуры *Chrysanthemum coronarium* L. из семейства *Asteracea* приспособиваться к новым условиям вегетации [1]. Анализ должен охватывать широкий спектр параметров: устойчивость к заморозкам, длительность вегета-

ционного периода в конкретных регионах, требовательность к почвенным условиям (кислотность, плодородие, влажность), устойчивость к распространенным заболеваниям и вредителям в рассматриваемом регионе, а также оптимальные агротехнические приемы выращивания: сроки посева, плотность посадки, система удобрения, методы борьбы с сорняками.

Хризантема увенчанная (*Glebionis coronaria* (L.) Cass.ex Spach., *Chrysanthemum coronarium* L.), съедобная или овощная — зеленая культура, популярная во многих странах Юго-Восточной Азии, в Китае и Японии. В США возделывается под японским названием Шунгуку. В отличие от декоративных хризантем, эта разновидность культивируется как листовая овощная культура. Ее популярность обусловлена богатым содержанием витаминов (С, В1, В2, РР), бета-каротина, минеральных веществ, включая йод и селен, а также различных биологически активных соединений [1, 2]. Особо следует отметить высокое содержание кверцетина — флавоноида, обладающего мощными антиоксидантными свойствами и благотворно влияющего на сердечно-сосудистую систему. Нежная текстура листьев и стеблей молодой хризантемы, а также приятный, слегка горьковатый вкус, позволяют использовать ее в различных кулинарных целях. Молодые листья и побеги добавляют в салаты, супы, овощные рагу, используют в качестве гарнира к мясным и рыбным блюдам. Цветки хризантемы, помимо декоративного применения, используются для приготовления настоек, вин и ароматизации чая, придавая им необычный аромат и тонкий вкус. Изучение фармакологических свойств хризантемы увенчанной показало, что она обладает противовоспалительными, антиоксидантными и иммуномодулирующими свойствами. Экстракты из растения традиционно применяются в народной медицине для профилактики и лечения сердечно-сосудистых заболеваний, заболеваний печени, а также для укрепления иммунитета. Miyazawa и Hisama установили антимуtagenную активность флавоноидов, выделенных из хризантемы, что открывает перспективы использования этих соединений в профилактической медицине [3].

Зарубежные исследования [3–6] демонстрируют возрастающий интерес к хризантеме овощной благодаря следующим ее характеристикам: высокое содержание биологически активных веществ; значительный антиоксидантный потенциал; адаптивность к различным климатическим условиям; перспективность для функционального питания.

Для успешной интродукции хризантемы увенчанной в Нечерноземную зону РФ необходимы комплексные исследования, направленные на определение оптимальных агротехнических приемов выращивания в конкретных климатических условиях. Это включает в себя не только изучение устойчивости растения к заморозкам и болезням, но и разработку эффективных методов защиты от вредителей, а также оптимизацию системы удобрений с учетом особенностей почв Нечерноземья. Такие исследования и их теоретический анализ позволят рассматривать возможность широкого внедрения этой перспективной культуры в сельскохозяйственное производство региона. Следует также оценивать экономическую целесообразность выращивания хризантемы увенчанной в сравнении с традиционными листовыми овощными культурами, а также изучать потенциал рынка сбыта данной продукции.

**Биологический и минеральный состав.** Род хризантема (*Chrysanthemum* L.) относится к трибе Антемидеевых (или Пулавковых) семейства Астровые. Трибу Антемидеевых (*Anthemideae*) составляют около 12 родов и 1600 видов растений, большинство из которых произрастает в Южной Африке и Средиземноморье [7]. Хризантема увенчанная широко распространена в Средиземноморском регионе и является обычным растением рудеральной флоры окраин полей, обочин дорог и городских пустырей [8].

*Chrysanthemum coronarium* L. имеет мощную разветвленную корневую систему, мясистый сильно ветвящийся стебель высотой до 1 м, перисто-рассеченные узкие темно-зеленые или широкодольные светло-зеленые листья. В регионах с теплым климатом возделывают широколистные, а в условиях холодного климата — промежуточный или узколиственный тип, так как он хорошо адаптируется [9]. Соцветия — одиночные корзинки, диаметром до 6 см, простые или полумахровые, на цветоносах длиной 15...20 см. Цветки крупные, с белыми и желтыми лепестками. Следует отметить, что листья съедобной хризантемы можно убирать уже через 30...40 дней после посева, когда растения достигают высоты 20 см. В пищу употребляют листья и цветки овощной хризантемы. Период цветения длится 1,5–2 месяца, семена созревают в августе — сентябре. Хризантема увенчанная характеризуется высоким содержанием бета-каротина, аскорбиновой кислоты и веществ фенольной природы, входящих в состав антиоксидантной системы растения. Помимо этого, благодаря Р-витаминной активности флавоноиды проявляют спазмолитический эффект (гликозиды кверцетина), способствуют свертываемости крови и снижению уровня холестерина в крови. Установлено присутствие в растении 14 аминокислот, 9 из которых являются незаменимыми. Больше всего аминокислот накапливается в листьях. Суммарное содержание аминокислот составляет от 8,27 до 10,67 %, в т.ч. незаменимых — от 3,47 до 4,78 %, что отражает биологическую ценность объекта исследования [10]. Хризантема съедобная (сорт Узорчатая) является продуцентом антрахиноновых пигментов, представляющих интерес с точки зрения использования этого растения в качестве лечебно-профилактического в составе слабительного сбора и как биологического фактора, участвующего в гумусообразовании. В связи с этим, овощные культуры, богатые оксиантрахинонами, представляют особую ценность в питании человека. В стеблях хризантемы съедобной обнаружены эмодин (в форме агликона и гликозида) и хризофанол [11]. Из корней растения выделены хризофанол и хризацин. Обнаруженные пигменты являются производными 1,8-диоксиантрахинона, поэтому хризантема съедобная может использоваться в качестве лечебно-профилактического средства в составе растительных сборов [1]. Выявлено, что экстракт из листьев хризантемы съедобной близок к экстракту женьшеня по антиоксидантной активности. Антиоксидантная активность обусловлена высоким содержанием фенольных кислот (кофейная, галловая, п-кумаровая, ванилиновая, феруловая и протокатеховая кислоты) и флавоноидов (кверцетин, мирицетин) [7, 8, 12]. Исследования на крысах линии Wistar продемонстрировали выраженную гастропротективную активность метанольного экстракта листьев *Chrysanthemum coronarium* L. Анализ метанольного экстракта выявил присутствие 19 фенольных соединений, представляющих 46,47 % от общего образца. Доминирующие компонен-

ты: о-кумаровая кислота (9,55 %), хлорогеновая кислота (6 %), мирицетин (4,19 %), бензойная кислота (2,87 %) [8].

Также идентифицированы пропилпарабен, 3-гидроксифлавоон, феруловая кислота, линолевая кислота, ванилиновая кислота, аскорбиновая кислота, протокатеховая кислота, кверцетин, катехин гидрат, кофейная кислота, п-кумаровая кислота, эпикатехин и п-гидроксибензойная кислота [1, 8]. В пищевых продуктах растительного происхождения широко распространены полифенолы (в т.ч. биофлавоноиды), которые обуславливают их органолептические свойства, а в комплексе с аскорбиновой кислотой повышают резистентность капилляров (Р-витаминная активность), нормализуют углеводно-фосфатный обмен, способствуют более эффективному использованию аскорбиновой кислоты. Физико-химический анализ показал наличие в листьях и соцветиях кверцетина в форме агликона, гликозида кверцетина с глюкозой в виде изокверцетина, а также биозида кверцетина с рамнозой и глюкозой в форме рутина. Содержание оксиантрахинонов в стеблях и корнях хризантемы съедобной (% на абсолютно сухую массу) составляет: в стебле — хризофанол 0,97 %; эмодин 0,34 %; рамноэмодин 0,43 %; сумма пигментов 1,74 %; в корне — хризацин 0,54 %; хризофанол 0,33 %; сумма пигментов 0,87 % [1]. Исследование ароматически активных соединений методом газовой хроматографии-масс-спектрометрии и анализа разведения ароматического экстракта выявило 18 соединений. Мирцен (31,9 %) был наиболее распространенным соединением, за ним следовали  $\alpha$ -бисаболол (16,5 %), (E, E)- $\alpha$ -фарнезен (11,0 %) и (E)- $\beta$ -фарнезен (8,4 %). Высокие коэффициенты показали (Z)-3-гексеналь, (E)-2-гексеналь, метионал, мирцен, нонаналь и (E, Z)-2,6-нонадиеналь [13]. В пыльце хризантемы овощной содержится 0,22 % пролина, что составляет 26,1 % от всех свободных аминокислот, а сумма незаменимых аминокислот — 36,2 % [14]. Также пыльца *Chrysanthemum coronarium* L. показала уникальный состав летучих веществ, среди основных соединений которого были перилловый альдегид, цис-хризантенилацетат и камфора; многие карбонильные соединения и линейные углеводороды обнаружили исключительно в пыльце [15].

Комплексные исследования элементного состава различных органов хризантемы увенчанной выявили высокую способность растения к накоплению биологически важных элементов. Показано наличие 14 аминокислот, из которых 9 являются незаменимыми (лизин, метионин, треонин, валин, изолейцин, лейцин, фенилаланин, цистеин, гистидин, аргинин, серин, пролин, глицин, тирозин). Максимальное накопление аминокислот наблюдается в листьях [1, 2, 7].

**Влияние условий выращивания.** Засоление почвы — основной абиотический стрессовый фактор, тормозящий и ограничивающий рост и развитие растений. Установлено, что при солевом стрессе активные пути углеводного и энергетического метаболизма, а также метаболизма глутатиона, позволяют растениям накапливать больше энергетических веществ и повышать антиоксидантную способность, что может играть защитную роль в поддержании роста и развития, а также в смягчении воздействия активных форм кислорода на хризантему овощную в условиях стресса. Выявление маркерных белков, контролирующих реакцию растений на стресс, может ускорить процесс создания сортов, устойчивых к засолению [16].

Исследования влияния градуированных уровней азота и калия на физиологические параметры роста и урожай цветков выявили оптимальные дозы удобрений. Максимальные показатели были достигнуты при применении азота в дозе 200 кг/га в сочетании с калием в дозе 150 кг/га: количество листьев на растение: 98,00 шт., площадь листьев на растение: 988,00 см<sup>2</sup>, LAI (индекс листовой поверхности): 0,618, LAD (продолжительность работы листьев): 268,04. Урожай цветков с гектара: 25,25 ц [17].

Хризантема съедобная является экологически пластичным растением, устойчивым к возвратным весенним холодам и осенним пониженным температурам. В работе по изучению влияния низких положительных температур на содержание и состав низкомолекулярных метаболитов — антиоксидантов в органах растения хризантемы съедобной — установлено, что устойчивость культуры к пониженным температурам и освещенности позволяет выращивать хризантему овощную на зелень с высоким содержанием антиоксидантов в августе — сентябре в открытом грунте, в сентябре — октябре — в пленочной теплице после уборки скороспелых культур. В корнях хризантемы овощной обнаружено высокое содержание суммы антиоксидантов по сравнению со стеблем, что свидетельствует о важной роли в защите надземной части растения при гипотермии. Т.е. в условиях пониженных температур у хризантемы овощной есть стратегия выживания и защиты вегетирующего растения за счет изменения содержания низкомолекулярных антиоксидантов в отдельных органах. Культура адаптируется к неоптимальным условиям в осенний период с помощью изменения суммарного содержания антиоксидантов (ССА), сахаров и аскорбиновой кислоты в фотосинтезирующих листьях и стеблях.

**Особенность выращивания в Нечерноземной зоне.** Нечерноземная зона Российской Федерации характеризуется малоплодородными почвами, низкими температурами в зимний период и избыточным увлажнением. Дерново-подзолистые почвы содержат 0,8...2 % гумуса, бедны азотом, фосфором, кальцием. Биологическая активность в таких почвах, особенно в неокультуренных, невысока из-за недостатка питательных веществ и кислой среды, что тормозит процессы разложения органических остатков и минерализации питательных веществ. Это требует внесения органических и минеральных удобрений для повышения плодородия. На юге Нечерноземья преобладают серые и темно-серые лесные почвы. Они характеризуются более высоким содержанием гумуса (от 2 до 4 %) по сравнению с дерново-подзолистыми почвами и меньшей степенью оподзоленности. Это делает их более плодородными и пригодными для земледелия. В связи с неблагоприятными почвенно-климатическими условиями повышение разнообразия овощного ассортимента является важной задачей овощеводства в этой зоне.

В российский Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию (gossortrf.ru), включены 6 сортов хризантемы увенчанной (овощной). В Московской области сорт Узорчатая, созданный в Федеральном научном центре овощеводства, вегетирует в открытом грунте до глубокой осени, сохраняя зеленую окраску листьев. Выращивать культуру можно как рассадным способом в закрытом грунте, так и ранневесенним севом в открытый грунт в средней полосе России. На урожай может влиять схема

и сроки посева семян и высадки рассады. В весенне-летний период возможно проводить 2–3 срезки зелени, в зависимости от сроков посева. Стандартные семена хризантемы съедобной должны иметь всхожесть для семеноводческих посевов не менее 55 %, а для товарных не менее 45 %, влажность 11 % [18]. В условиях Подмоскovie у сорта Узорчатая фаза бутонизации наступает через 22...35 суток, цветение через 40...60 после появления всходов. Период цветения длится не менее 60–70 дней. Созревание семян начинается через 30–60 дней после начала цветения. В связи с этим рекомендуется вести семеноводство рассадной культурой с посевом в феврале-марте в теплице. При высевании семян в открытый грунт в начале мая наблюдалось, что семена пригодны только для товарных посевов [18].

Исследования адаптационных свойств хризантемы овощной, проведенные в Подмоскovie, в ФНЦ овощеводства, выявили зависимость между морфологическими особенностями листьев и устойчивостью к стрессовым факторам окружающей среды. Эксперимент показал, что хризантемы с промежуточным и узколиственным типом листьев демонстрируют значительно большую пластичность и устойчивость к неблагоприятным условиям, чем их широколиственные собратья [1, 2, 18]. Это особенно важно для региона с неустойчивым климатом, характерным для Московской области. В рамках исследования были изучены три основных типа листьев овощной хризантемы: широколиственный, промежуточный и узколиственный. Каждый тип отличался не только размерами и формой листовой пластинки, но и анатомическим строением, которые, вероятно, и обуславливают различную степень адаптации к стрессовым факторам. В условиях аномально дождливого летнего периода наблюдалось угнетение роста у всех исследуемых образцов, но особенно сильно пострадали широколиственные растения. Их медленное развитие в начальных фазах вегетации, вероятно, было вызвано недостатком тепла и избытком влаги, способствующими развитию корневых гнилей. Более того, избыток влаги в почве мог привести к недостатку кислорода в корневой системе, что еще сильнее замедляет рост растения. Наличие дополнительного стрессового фактора — недостатка солнечного света в начале вегетации — усугубило ситуацию для широколиственных хризантем, которые, в отличие от узколистных, обладают большей площадью листовой поверхности и, соответственно, требуют больше солнечной энергии для фотосинтеза. Несмотря на неблагоприятные условия, биохимический анализ показал, что содержание сухого вещества в листьях всех типов хризантем оставалось на высоком уровне (13...13,5 %). Содержание аскорбиновой кислоты (более 32 мг %) и бета-каротина (более 3 мг %) также подтвердило высокую физиологическую активность растений, что свидетельствует о способности хризантемы овощной адаптироваться к стрессовым условиям за счет внутренних резервов [1, 12]. Однако, различие в реакции на стрессовые условия свидетельствует о том, что эти резервы эффективнее используются в узколистных и промежуточных вариантах.

В Костромской области разработаны элементы технологии выращивания хризантемы овощной в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России. При возделывании в условиях открытого грунта и зимних теплиц, изучалось влияние абиотических факторов на хризантему сорта Узорчатая и оценка экономической эффективности рекомендуемых агротехнических приемов. Показано, что природно-

климатические условия района позволяют возделывать культуру и получать стабильные урожаи зеленой массы и семян. Урожай, полученный в открытом и закрытом грунте, по расчетам, подтверждает рентабельность выращивания культуры на зеленую продукцию в открытом и защищенном грунте [19]. В лесостепной зоне Башкирского Предуралья выращивали представителей рода *Chrysanthemum* L. с целью интродукции и пополнения зонального ассортимента лекарственных растений. Выявлено, что все изучаемые виды *Chrysanthemum* L., в т. ч. и хризантема овощная, подходят для интродукции и могут быть рекомендованы для пополнения зонального ассортимента растений в Республике Башкортостан [9]. Интродукционные исследования, проведенные в 2000–2017 гг. на базе Южно-Уральского ботанического сада-института, показали, что хризантема увенчанная хорошо переносит условия Башкирского Предуралья. Растение успешно адаптируется к условиям средней полосы России при выращивании как однолетняя культура [7, 18].

По исследованиям интродукции хризантемы овощной в разных регионах России можно судить о пригодности культуры для выращивания не только в защищенном грунте, но и в открытом. Рекомендуемые средние значения для различных почвенно-климатических условий РФ — схема посадки: междурядья: 45–50 см, расстояние в ряду: 25–30 см, густота стояния: 8...10 растений/м<sup>2</sup>, основное внесение удобрений N-100–120 кг/га, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>–100–120 кг/га, K<sub>2</sub>O–120–150 кг/га, подкормки: 1-я: через 2 недели после высадки (N), 2-я: в начале бутонизации (N: P: K = 1:1:1), 3-я: начало цветения (K). Лучшие результаты по урожайности зеленой продукции хризантемы увенчанной получены при высеве семян в открытый грунт в конце второй декады мая с шириной междурядий 30 см (5,7 кг/м<sup>2</sup>). При использовании рассадного способа закладки участков урожай составлял до 6,1 кг/м<sup>2</sup> [20, 21].

Результаты исследований российских и зарубежных ученых создают научную базу для оптимизации выращивания *Chrysanthemum coronarium* L. и максимальной реализации потенциала этой культуры. Перспективные направления дальнейших исследований включают изучение генетических механизмов адаптации к различным климатическим условиям, разработку методов повышения биодоступности активных компонентов, оптимизацию технологий переработки и создания функциональных продуктов, селекцию новых сортов с повышенным содержанием биологически активных веществ, совершенствование технологий выращивания в защищенном грунте для регионов с коротким вегетационным периодом. Практические рекомендации для максимального накопления биоактивных веществ включают соблюдение оптимального температурного режима 20...25 °С, применение комбинированного освещения (красный + синий спектр), сбалансированное минеральное питание, контролируемый уровень стрессовых воздействий.

## Заключение

*Chrysanthemum coronarium* L. (хризантема увенчанная, овощная, съедобная) богата минеральным составом, имеет высокую биологическую продуктивность, экологически пластична, непривередлива в выращивании и уходе, пониженные

температуры не вредят ее качественному составу, таким образом, это перспективная культура для интродукции в Нечерноземной зоне. Дальнейшие исследования по интродукции хризантемы овощной могли бы включать в себя изучение влияния генетических факторов на формирование различных типов листьев, а также анализ экспрессии генов, ответственных за стрессоустойчивость в разных условиях, и повышение антиоксидантных свойств растительной продукции. Более подробное изучение микрофлоры ризосферы поспособствует определению роли почвенных микроорганизмов в адаптации хризантемы увенчанной к неблагоприятным условиям. Анализ содержания различных фитогормонов в листьях, в зависимости от типа листа и погодных условий, может раскрыть механизмы адаптации растений *Chrysanthemum coronarium* L. к стрессовым факторам. Для повышения устойчивости к неблагоприятным факторам рекомендуется закаливание рассады, использование современных регуляторов роста и внекорневые подкормки микроэлементами. Урожайность зеленой массы и возможность семеноводства окупают производственные затраты, что делает культуру рентабельной для выращивания и реализации потребителям, а также получения семян хризантемы увенчанной.

### Список литературы

1. Гинс М.С., Гинс В.К., Кононков П.Ф., Байков А.А., Пивоваров Ф.В., Фотев Ю.В., Гинс Е.М. Содержание низкомолекулярных антиоксидантов в органах растения хризантемы овощной в условиях низкой положительной температуры // Российская сельскохозяйственная наука. 2019. № 4. С. 22–26. doi: 10.31857/S2500-26272019422-26 EDN: PSTQWY
2. Романова Е.В. Овощная хризантема перспективная культура // Картофель и овощи. 2005. № 3. С. 20.
3. Miyazawa M., Hisama M. Antimutagenic activity of flavonoids from *Chrysanthemum morifolium* // Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry. 2003. Vol. 67. № 10. P. 2091–2099. doi: 10.1271/bbb.67.2091
4. Kim J., Choi J.N., Ku K.M., Kang D., Kim J.S., Park J.H., Lee C.H. A correlation between antioxidant activity and metabolite release during the blanching of *Chrysanthemum coronarium* L. // Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry. 2011. Vol. 75. № 4. P. 674–680. doi: 10.1271/bbb.100799 EDN: ONMXDT
5. Sulas L., Petretto G.L., Pintore G., Piluzza G. Bioactive compounds and antioxidants from a Mediterranean garland harvested at two stages of maturity // Natural product research. 2017. Vol. 31. № 24. P. 2941–2944. doi: 10.1080/14786419.2017.1305384
6. Pires E.O. Jr, Di. Gioia F., Roupheal Y., Ferreira I.C.F.R., Caleja C., Barros L., Petropoulos S.A. The compositional aspects of edible flowers as an emerging horticultural product // Molecules. 2021. Vol. 26. № 22. P. 6940. doi: 10.3390/molecules26226940
7. Денисова С.Г., Реут А.А., Пупыкина К.А. Фитохимическое исследование сырья некоторых представителей рода *Chrysanthemum* L. // Химия растительного сырья. 2018. № 3. С. 99–105. doi: 10.14258/jcprm.2018033737 EDN: VABOYN
8. Belmatoun A.R., Ammam A., Mhamdia C., Chadli R., Baki A., Tou A., et al. *Chrysanthemum coronarium* L.: chemical composition and gastroprotective potential of methanolic leaf extract in ethanol-induced gastric ulcers in male wistar rats // Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research. 2024. Vol. 58. № 1. P. 145–153. doi: 10.5530/ijper.58.1.15
9. Пятна И.С., Миронова Л.Н. Биологические особенности некоторых представителей рода *Chrysanthemum* L. при интродукции в Башкирское Предуралье // Молодые ученые и фармация XXI века: сб. науч. трудов Третьей науч.-практ. конф. с междунар. участием. М., 2015. С. 114–118. EDN: WDDERF
10. Реут А.А., Денисова С.Г. Биологически активные вещества некоторых видов хризантем // Плодоводство и ягодоводство России. 2019. Т. 57. С. 128–133. doi: 10.31676/2073-4948-2019-57-1-128-133 EDN: CEWATI
11. Тарасова М.И. Хризантема увенчанная — новое перспективное лекарственное растение // Плодоводство и ягодоводство России. 2021. Т. 64. С. 61–67. doi: 10.31676/2073-4948-2021-64-61-67 EDN: YOIKCH
12. Гинс М.С., Гинс В.К. К вопросу об антиоксидантном метаболоме овощных культур селекции ВНИИССОК // Овощи России. 2015. № 2. С. 75–79. doi: 10.18619/2072-9146-2015-2-75-79 EDN: UCCCNZ

13. Zheng C.H., Kim T.H., Kim K.H., Leem Y.H., Lee H.J. Characterization of potent aroma compounds in *Chrysanthemum coronarium* L. (Garland) using aroma extract dilution analysis // *Flavour and Fragrance Journal*. 2004. Vol. 19. № 5. P. 401–405. <https://doi.org/10.1002/ffj.1447>

14. Колесников М.П. Биохимический состав и кремний растительной пыльцы и пчелиной перги // *Успехи современной биологии*. 2000. № 4. С. 371–383.

15. Flamini G., Cioni P.L., Morelli I. Differences in the fragrances of pollen, leaves, and floral parts of garland (*Chrysanthemum coronarium*) and composition of the essential oils from flowerheads and leaves // *Journal of agricultural and food chemistry*. 2003. Vol. 51. № 8. P. 2267–2271. doi: 10.1021/jf021050l

16. Zhang D., Wang D., Xu N., Feng S., Qian Y., Wang Sh., Bai Y., Zhou Y. Proteomic analysis of the regulatory network of salt stress in *Chrysanthemum* // *BMC Plant Biology*. 2025. Vol. 25. P. 357. doi: 10.1186/s12870-025-06384-2 EDN: BRDKML

17. Teja P.R., Bhaskar V.V., Dorajeerao A.V.D., Subbaramamma P. Effect of graded levels of nitrogen and potassium on growth and flower yield of annual chrysanthemum (*Chrysanthemum coronarium* L.) // *Plant Archives*. 2017. Vol. 17. № 2. P. 1371–1376.

18. Кононков П.Ф., Гинс М.С., Тришин М.Е., Велиева Р.Г. Перспективы выращивания хризантемы съедобной сорта Узорчатая // *Овощи России*. 2011. № 4 (13). С. 46–49. EDN: OZMDYB

19. Масленникова С.А., Демьянова-Рой Г.Б. Выращивание хризантемы овощной в защищенном // *Гавриш*. 2009. № 2. С. 18–19. EDN: KAQFHV

20. Стрелец В.Д., Кулешова М.И. Зеленая продуктивность хризантемы увенчанной (*Chrysanthemum coronarium*) в зависимости от способов выращивания // *Известия ТСХА*. 2010. № 4. С. 110–103. EDN: MTVOWL

21. Стрелец В.Д., Кулешова М.И. Семенная продуктивность хризантемы съедобной (*Chrysanthemum coronarium*) в условиях Подмосковья // *Доклады ТСХА*. 2009. № 281. С. 219–221.

#### Об авторах:

Романова Елена Валерьевна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник, доцент агробиотехнологического департамента аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: romanova-ev@rudn.ru

ORCID: 0000-0002-8287-5462 SPIN-код: 7862-0287

Гинс Мурат Сабирович — доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, профессор агробиотехнологического департамента, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; заведующий лабораторией физиологии и биохимии растений, интродукции и функциональных продуктов, Федеральный научный центр овощеводства, Российская Федерация, 143080, Московская обл., Одинцовский район, поселок ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14; e-mail: gins-ms@rudn.ru

ORCID: 0000-0001-5995-2696 SPIN-код: 6459-7630

Гинс Валентина Карловна — доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории физиологии и биохимии растений, интродукции и функциональных продуктов, Федеральный научный центр овощеводства, Российская Федерация, 143080, Московская обл., Одинцовский район, поселок ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14; e-mail: anit@bk.ru

ORCID: 0000-0002-7053-4345

Кезимана Парфэ — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник агробиотехнологического департамента, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, e-mail: kezimana-p@rudn.ru

ORCID: 0000-0002-1682-6128 SPIN-код: 3423–5044

Тчуда Лопеш Мам Эриксон — аспирант агробиологического департамента, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: erick-mam21@hotmail.com



DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-531-544

EDN BQCEOB

УДК 631.67:633.11

Научная статья / Research article

## Состояние и прогноз изменения площадей под овощными культурами и капельным поливом в Республике Крым

Д.П. Сидаренко<sup>1</sup>  , П.В. Сидаренко<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, г. Новочеркасск, Российская Федерация

<sup>2</sup>Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова — филиал Донского государственного аграрного университета, г. Новочеркасск, Российская Федерация  
 sidarenko1@mail.ru

**Аннотация.** Цель исследования — оценить состояние овощеводства в Республике Крым для определения потребности в овощах и произвести расчет прогноза развития овощеводства с учетом сложившихся экономических условий и изменения площадей орошения капельным способом для увеличения производства овощной продукции, снижения ее себестоимости при эффективном использовании водных ресурсов, сохранения и повышения плодородия мелиорированных земель. Используются статистические данные по площади и продуктивности овощных культур, динамике внесения минеральных удобрений под овощные культуры и количеству дождевальной техники за период 2015–2023 гг. по Республике Крым. Анализ изменения площади, занятой овощными культурами в Республике Крым, выявил отрицательную динамику. За период 2015–2023 гг. отмечено стабильное уменьшение площади с 7,3 до 5,8 тыс. га. На фоне этого объем производства овощной продукции варьировал от 173,0 до 204,8 тыс. т. При этом сократилось количество дождевальных машин и установок с 556 в 2016 г. до 384 в 2023 г. Наблюдалась нестабильность в количестве вносимых под овощные культуры минеральных удобрений: в 2020 г. внесено 179 ц, а в 2023 г. — 265 ц. Объем произведенной овощной продукции не покрывает потребностей населения Республики Крым в среднем на 61,46 тыс. т, а учитывая тот факт, что республика является курортным регионом, а по итогам 2024 г. только потребности туристов в курортный сезон не были удовлетворены на 740,1 тыс. т. При этом выполненный прогноз показывает, что к 2030 г. площадь возделывания овощных культур может сократиться до 3,8 тыс. га. В то же время, согласно нашему прогнозу, площадь полива капельным орошением с 16,7 тыс. га в 2023 г. может увеличиться до 22,1 тыс. га к 2030 г., и до 29,5 тыс. га — к 2040 г. В связи с этим предложено занять часть вновь вводимых площадей под возделывание овощных культур.

© Сидаренко Д.П., Сидаренко П.В., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

**Ключевые слова:** овощеводство, капельное орошение, дождевальная техника, минеральные удобрения, сокращение площадей

**Вклад авторов:** Сидаренко Д.П. — разработка концепции научного исследования, анализ статистических данных, графическая визуализация, написание текста; Сидаренко П.В. — подготовка заключения, корректура текста публикации.

**Заявление о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

**История статьи:** поступила в редакцию 5 июня 2025 г., принята к публикации 22 сентября 2025 г.

**Для цитирования:** Сидаренко Д.П., Сидаренко П.В. Состояние и прогноз изменения площадей под овощными культурами и капельным поливом в Республике Крым // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 4. 531–544. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-531-544 EDN: BQCEOB

## Status and forecast of changes in areas under vegetable crops and drip irrigation in the Republic of Crimea

Dmitry P. Sidarenko<sup>1</sup>  , Petr V. Sidarenko<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Russian Research Institute of Land Reclamation Problems, Novocherkassk, Russian Federation

<sup>2</sup>Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A.K. Kortunov — branch of Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation  
 sidarenko1@mail.ru

**Abstract.** The purpose of the research was to assess the current state of vegetable growing in the Republic of Crimea to determine vegetable demand and to calculate the prospects for the development of vegetable growing considering the current economic conditions and changes in the area irrigated by drip systems in order to increase vegetable production, reduce its production cost through efficient use of water resources, preserve and improve fertility of reclaimed lands. Statistical data on the area and productivity of vegetable crops, the dynamics of mineral fertilizer application for vegetables and the number of sprinkler equipment in 2015–2023 in the Republic of Crimea were used. The analysis of changes in the current state of the area cultivated for vegetable crops in the Republic of Crimea revealed a negative trend. During 2015–2023, there was a steady decrease in the area from 7.3 to 5.8 thousand hectares. Against this background, the volume of vegetable production varied from 173.0 to 204.8 thousand tons. At the same time, there has been a reduction in the number of sprinklers and installations from 556 in 2016 to 384 in 2023. There was instability in the amount of mineral fertilizers used for vegetable crops, so in 2020, 179 tons of mineral fertilizers were applied, and in 2023 this figure was 265 tons. The volume of vegetable products produced does not cover the needs of the population of the Republic of Crimea by an average of 61.46 thousand tons. Despite the Republic is a resort region, by the end of 2024, the needs of tourists during the resort season alone were not met by 740.1 thousand tons. However, our forecast shows that based on the available data, by 2030 the area under vegetable crop cultivation may decrease to 3.8 thousand hectares. At the same time, according to the forecast, the irrigated area equipped with drip irrigation may increase from 16.7 thousand hectares in 2023 to 22.1 thousand hectares by 2030, and to 29.5 thousand hectares by 2040. In this regard, it was proposed to allocate part of the newly introduced areas for cultivation of vegetable crops.

**Keywords:** vegetable growing, drip irrigation, sprinkler technology, mineral fertilizers, area reduction

**Authors' contribution:** Sidarenko D.P. — research concept development, statistical data analysis, graphical visualization, manuscript writing; Sidarenko P.V. — preparation of the conclusions and proofreading the manuscript.

**Conflict of interests.** The authors declared no conflict of interests.

**Article history:** received 5 June 2025; accepted 22 September 2025.

**For citation:** Sidarenko DP, Sidarenko PV. Status and forecast of changes in areas under vegetable crops and drip irrigation in the Republic of Crimea. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(4):531–544. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-531-544 EDN: BQCEOB

## Введение

Ведение сельскохозяйственного производства в условиях Крымского полуострова обусловлено нехваткой и непредсказуемостью распределения атмосферных осадков, в связи с чем оптимизация водного режима возделываемых сельскохозяйственных культур требует пристального внимания.

В степной части Республики Крым среднегодовое количество выпадающих осадков колеблется от 340 до 400 мм, в предгорной части оно может достигать 450 мм. Такое недостаточное количество атмосферных осадков в сочетании с неравномерностью их распределения за период вегетации в теплое время года при неблагоприятном раскладе может уменьшаться практически на 40 %, что ставит Республику Крым в один ряд с лидирующими субъектами засушливых регионов юга России [1].

Дефицит влаги может существенно влиять на продуктивность сельскохозяйственных культур, сводя до минимума эффект от таких важных элементов технологии их возделывания, как обработка почвы, проведение уходных работ и даже внесение минеральных удобрений.

Выращивание овощных культур — одно из основных направлений растениеводства Республики Крым. Этим культурам отводится одна из лидирующих позиций в обеспечении потребностей человека в витаминах, углеводах, органических кислотах и минеральных элементах [2, 3].

Начиная с 2018 г. перед сельхозтоваропроизводителями Республики Крым крайне остро встал вопрос получения с наименьшими затратами ресурсов необходимого количества овощной продукции для покрытия нужд местного населения, отдыхающих в курортный сезон и продажи овощной продукции в другие регионы Российской Федерации. Для решения этих жизненно важных вопросов необходимо использовать высокотехнологичные способы орошения овощных культур, которые обеспечивают гарантированное повышение урожайности в 2–3 и более раз при высокой рентабельности производства в сложных природно-климатических условиях Крыма [4, 5].

В регионах России отмечается существенное различие в потреблении овощной продукции на душу населения. Сложившаяся ситуация обусловлена уровнем обеспеченности средствами производства и благосостоянием населения региона, существенными трудностями выращивания овощных культур и низким уровнем продуктивности при традиционных технологиях их возделывания. В значительной степени это касается использования устаревших поверхностных способов орошения и медленным переходом к закрытым системам трубопроводов под давлением, которые обеспечивают значительную экономию оросительной воды [6, 7].

**Цель исследования** — оценить состояние овощеводства в Республике Крым для определения потребности в овощах и произвести расчет прогноза развития овощеводства с учетом сложившихся экономических условий и изменения площадей орошения капельным способом для увеличения производства овощной продукции, снижения ее себестоимости при эффективном использовании водных ресурсов, сохранения и повышения плодородия мелиорированных земель

## Материалы и методы исследования

Использованы статистические данные Управления Федеральной службы государственной статистики по Республике Крым и г. Севастополю за период 2015–2023 гг., с сайта Министерства сельского хозяйства Республики Крым, по мелиорации в овощеводстве, перспективам его развития в изменяющихся условиях Крыма. Прогнозные значения получены с применением линии тренда и стандартной функции «Предсказ» из пакета Excel.

## Результаты исследования и обсуждение

Здоровое питание человека невозможно без употребления в пищу свежих овощей. В соответствии с Приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации № 648 от 19 августа 2016 г., который утвердил Рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, соответствующим современным требованиям здорового питания, норма потребления овощей и бахчевых культур составляет 140 кг/год/чел. (табл. 1).

Таблица 1

### Нормы потребления овощей и бахчевых

| Вид овощной культуры   | Рекомендуемая рациональная норма потребления, кг/год/чел. |
|--|---|
| Капуста белокочанная, краснокочанная, цветная и др.            | 40  |
| Помидоры   | 10  |
| Огурцы   | 10  |
| Морковь  | 17  |
| Свекла   | 18  |
| Лук  | 10  |
| Прочие овощи (перец сладкий, зелень, кабачки, баклажаны и др.) | 20  |
| Бахчевые (арбузы, тыква, дыни)                                 | 15  |
| <b>Итого</b>   | <b>140</b>  |

Источник: Приказ Минздрава России от 19.08.2016 № 614 «Об утверждении рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания». Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71385784/?ysclid=m7ydfhkyty420093010> (дата обращения: 25.02.2025).

Table 1

**Recommended rational consumption rate vegetables and melons**

| Type of vegetable crop   | Recommended rational consumption, kg/year/person |
|--|--|
| White cabbage, red cabbage, cauliflower, etc.                    | 40   |
| Tomato   | 10   |
| Cucumber   | 10   |
| Carrot   | 17   |
| Beet   | 18   |
| Onion  | 10   |
| Other vegetables (sweet pepper, herbs, zucchini, eggplant, etc.) | 20   |
| Cucurbits (watermelon, pumpkin, melon)                           | 15   |
| <b>Total</b>   | <b>140</b>                                       |

Source: Order of the Ministry of Health of Russia dated August 19, 2016 No. 614 "On approval of recommendations on rational consumption standards for food products that meet modern healthy eating requirements." Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71385784/?ysclid=m7ydfhkyty420093010> (Accessed 25 February 2025).

Таким образом, рациональная норма потребления овощей без учета бахчевых составляет 125 кг/год/чел. В результате обработки статистических данных количества населения и ежегодной нормативной потребности в овощах мы произвели расчеты и определили потребность жителей Республики Крым в овощах за период 2015–2023 гг. (табл. 2).

Таблица 2

**Годовая потребность жителей Республики Крым в овощах за период 2015–2023**

| Годы | Численность населения, млн чел. | Общая годовая потребность в овощах, тыс. т |
|------|---------------------------------|--|
| 2015 | 1,8959                          | 236,99                                     |
| 2016 | 1,9125                          | 239,06                                     |
| 2017 | 1,9228                          | 240,35                                     |
| 2018 | 1,9296                          | 241,20                                     |
| 2019 | 1,9327                          | 241,59                                     |
| 2020 | 1,9386                          | 242,33                                     |
| 2021 | 1,9319                          | 241,49                                     |
| 2022 | 1,9311                          | 241,39                                     |
| 2023 | 1,9168                          | 239,60                                     |

Источник: рассчитал Д.П. Сидаренко.

Table 2

**Annual vegetable demand in the Republic of Crimea for 2015–2023**

| Year | Population, million people | Total annual demand for vegetables, thousand t |
|------|----------------------------|--|
| 2015 | 1.8959                     | 236.99   |
| 2016 | 1.9125                     | 239.06   |
| 2017 | 1.9228                     | 240.35   |
| 2018 | 1.9296                     | 241.20   |
| 2019 | 1.9327                     | 241.59   |
| 2020 | 1.9386                     | 242.33   |
| 2021 | 1.9319                     | 241.49   |
| 2022 | 1.9311                     | 241.39   |
| 2023 | 1.9168                     | 239.60   |

Source: compiled by D.P. Sidarenko.

Анализ данных (табл. 2) показывает, что средняя потребность в овощах населения Крыма в год за период 2015–2023 гг. составила 240,4 тыс. т.

Известны площади и объемы производства овощей сельхозтоваропроизводителями Республики Крым за период 2015–2023 гг. (табл. 3). Объем производства овощей в открытом грунте в Республике Крым составил в среднем 179,0 тыс. т и находился в интервале от 173,0 до 204,8 тыс. т.

Таблица 3

**Площадь и объемы производства овощей в Республике Крым за период 2015–2023 гг.**

| Показатель  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  | 2019  | 2020  | 2021  | 2022  | 2023  |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Площади возделывания (овощей открытого грунта), тыс. га | 7,3   | 7,7   | 7,1   | 6,7   | 7,0   | 6,8   | 6,4   | 6,3   | 5,8   |
| Производство овощей, тыс. т                             | 189,9 | 181,7 | 173,0 | 164,8 | 170,7 | 168,9 | 173,2 | 204,8 | 183,9 |
| Средняя урожайность, т/га                               | 26,01 | 23,60 | 24,37 | 24,60 | 24,39 | 24,84 | 27,06 | 32,51 | 31,71 |

Источник: Управление Федеральной службы государственной статистики по Республике Крым и г. Севастополю: официальный сайт. Режим доступа: <https://82.rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 25.02.2025).

Table 3

**Cultivated area and volumes of vegetable production in the Republic of Crimea, 2015–2023**

| Indicator  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  | 2019  | 2020  | 2021  | 2022  | 2023  |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Cultivated area (open-field vegetables), thousand ha | 7.3   | 7.7   | 7.1   | 6.7   | 7.0   | 6.8   | 6.4   | 6.3   | 5.8   |
| Vegetable production, thousand t                     | 189.9 | 181.7 | 173.0 | 164.8 | 170.7 | 168.9 | 173.2 | 204.8 | 183.9 |
| Average yield, t/ha                                  | 26.01 | 23.60 | 24.37 | 24.60 | 24.39 | 24.84 | 27.06 | 32.51 | 31.71 |

Source: Website of the Office of the Federal State Statistics Service for the Republic of Crimea and the city of Sevastopol. Available from: <https://82.rosstat.gov.ru/> (Accessed 25 February 2025).

Одну из основных задач овощеводства региона исследований составляет удовлетворение потребностей собственного населения в овощной продукции. Остаток полученной продукции может быть реализован на внутреннем рынке и продан за пределы республики.

В течение 2015–2023 гг. объемы производства овощной продукции в регионе не удовлетворяют собственные потребности (табл. 4). В среднем дефицит составил 61,46 тыс. т., что в пересчете на одного жителя составляет 0,03 т.

Таблица 4

**Соотношение объема потребления и объема производства овощей  
в Республике Крым**

| Годы | Объем производства овощей,<br>тыс. т | Общая годовая потреб-<br>ность в овощах, тыс. т | Разница, тыс. т |
|------|--------------------------------------|---|-----------------|
| 2015 | 189,9                                | 236,99  | -47,09          |
| 2016 | 181,7                                | 239,06  | -57,36          |
| 2017 | 173,0                                | 240,35  | -67,35          |
| 2018 | 164,8                                | 241,20  | -76,4           |
| 2019 | 170,7                                | 241,59  | -70,89          |
| 2020 | 168,9                                | 242,33  | -73,43          |
| 2021 | 173,2                                | 241,49  | -68,29          |
| 2022 | 204,8                                | 241,39  | -36,59          |
| 2023 | 183,9                                | 239,60  | -55,7           |

Источник: рассчитал Д.П. Сидаренко.

Table 4

**Ratio of consumption and production of vegetables in the Republic of Crimea**

| Year | Vegetable production,<br>thousand t | Total annual demand for<br>vegetables, thousand t | Difference,<br>thousand t |
|------|-------------------------------------|---|---------------------------|
| 2015 | 189.9                               | 236.99  | -47.09                    |
| 2016 | 181.7                               | 239.06  | -57.36                    |
| 2017 | 173.0                               | 240.35  | -67.35                    |
| 2018 | 164.8                               | 241.20  | -76.4                     |
| 2019 | 170.7                               | 241.59  | -70.89                    |
| 2020 | 168.9                               | 242.33  | -73.43                    |
| 2021 | 173.2                               | 241.49  | -68.29                    |
| 2022 | 204.8                               | 241.39  | -36.59                    |
| 2023 | 183.9                               | 239.60  | -55.7                     |

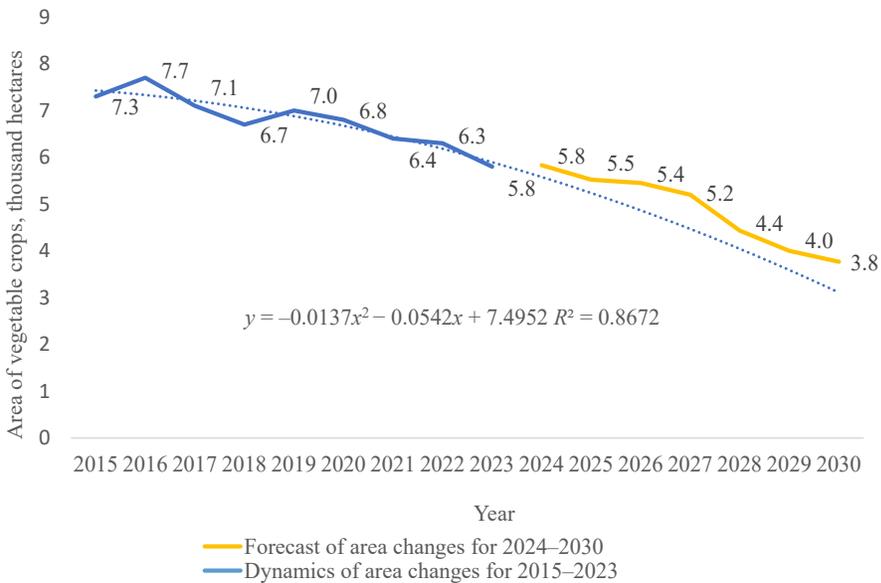
Source: compiled by D.P. Sidarenko.

На фоне этого следует отметить, что за период 2015–2023 гг. в Республике Крым отмечается тенденция к сокращению площади возделывания овощей. Так в 2015–2019 гг. средняя площадь возделывания овощей составляла 7,2 тыс. га,

а в 2020–2023 гг. данный показатель снизился до 6,3 тыс. га (рис. 1), что ниже значения за первые пять лет на 0,9 тыс. га или 12,5 %. В масштабах субъекта Российской Федерации это довольно высокий показатель по снижению площади, занятой овощными культурами.



**Рис. 1.** Динамика и предпрогноз изменения площадей занятых овощами  
 Источник: выполнил Д.П. Сидаренко с помощью Microsoft Office Excel.



**Fig. 1.** Dynamics and forecast of changes in the areas cultivated for vegetables  
 Source: compiled by D.P. Sidarenko using Microsoft Office Excel.

Рассчитанный нами предпрогноз изменения площадей возделывания овощных культур в Республике Крым к 2030 г. показывает, что сокращение площади к 2030 г. может составить до 3,8 тыс. га. О высокой степени соответствия прогноза говорит полученный коэффициент детерминации  $R^2 = 0,87$ .

Получение высоких урожаев овощных культур обеспечивается проведением целого комплекса агрометеорологических приемов и мероприятий. К основным из них следует отнести наличие дождевальной техники и количество вносимых минеральных удобрений.

Начиная с 2015 г. в Республике Крым отмечено снижение обеспеченности овощеводства основными средствами производства (табл. 5). Эта негативная тенденция для крайне важной отрасли сельскохозяйственного производства сказывается на экономическом развитии региона в целом.

Таблица 5

**Обеспеченность овощеводства Республики Крым основными средствами производства в период 2015–2023 гг.**

| Показатель  | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Наличие дождевальных машин и установок, шт.   | –    | 556  | 511  | 507  | 483  | 407  | 346  | 347  | 384  |
| Внесение минеральных удобрений под овощи (в пересчете на 100 % питательных веществ) на один га посева, кг | 134  | 186  | 242  | 270  | 236  | 179  | 261  | 173  | 265  |

Источник: Управление Федеральной службы государственной статистики по Республике Крым и г. Севастополю: официальный сайт. Режим доступа: <https://82.rosstat.gov.ru> (дата обращения: 25.02.2025).

Table 5

**Resource provision for vegetable production in the Republic of Crimea, 2015–2023**

| Indicator   | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Availability of sprinklers and installations, units                                       | –    | 556  | 511  | 507  | 483  | 407  | 346  | 347  | 384  |
| Mineral fertilizer application for vegetables (100 % nutrient equivalent) per hectare, kg | 134  | 186  | 242  | 270  | 236  | 179  | 261  | 173  | 265  |

Source: Website of the Office of the Federal State Statistics Service for the Republic of Crimea and the city of Sevastopol. Available from: <https://82.rosstat.gov.ru/> (Accessed 25 February 2025).

Анализ статистических данных (см. табл. 5) выявил стабильную тенденцию к сокращению количества дождевальной машин и установок. Так с 556 шт. в 2016 г. к 2023 г. этот показатель снизился довольно существенно — до 384 шт., или в 1,5 раза.

Количество вносимых под овощные культуры минеральных удобрений в Республике Крым в период 2015–2023 гг. не имеет четкой тенденции к снижению или увеличению.

Основная причина сокращения площади возделывания, по нашему мнению, состоит в дефиците поливной воды в регионе из-за авантюрных действий политического руководства Украины.

В то же время в регионе отмечено стабильное увеличение количества вносимых минеральных удобрений под овощные культуры с 2015 по 2018 г. Так в 2015 г. внесено 134 кг/га минеральных удобрений, а в 2018 г. показатель составил уже 270 кг/га. Следует отметить, что в 2018 г. под овощные культуры было внесено максимальное количество минеральных удобрений, а с 2019 г. наметилась нестабильная динамика, отмечаются резкие снижения и подъемы анализируемого показателя, например, в 2020 г. — 179, а в 2023 г. — 265 кг/га.

По официальным данным Крымстата<sup>1</sup>, в 2022 г. лидером по количеству внесенных минеральных удобрений среди муниципальных районов, является Джанкойский район с показателем 1706,9 т. На последней строчке находится Белогорский район, в котором было внесено всего 105,5 т.

В условиях дефицита поливной воды и на фоне сокращения количества дождевалых машин и установок основным способом орошения овощных культур становится капельное орошение с забором воды из скважин. Этот способ полива позволяет существенно сократить оросительные нормы при возделывании основных овощных культур в Республике Крым.

Оросительная норма основных овощных культур при дождевании с различной степенью обеспеченности для условий Республики Крым<sup>2</sup>, колеблется от 2100 до 2400 м<sup>3</sup>/га при 50 % обеспеченности и возрастает до 4100...4500 м<sup>3</sup>/га при 95 % обеспеченности, что в среднем составляет 2250...4300 м<sup>3</sup>/га. Капельное орошение тех же самых овощных культур, полив которых осуществляется дождеванием, позволяет снизить оросительную норму до 2520...3145 м<sup>3</sup>/га. Следует также учитывать и такие моменты: при орошении дождеванием необходимо приобретение дождевалых машин и установок, количество которых, как отмечалось выше, в республике сильно сократилось, а также затраты на горючее.

При этом оросительные нормы могут корректироваться при близком залежании грунтовых вод. Ранее мы провели зональное деление орошаемых земель Республики Крым с точки зрения особенностей управления режимами орошения и в зависимости от почвенно-климатических условий и уровня залежания грунтовых вод от 0,5 до 15 м [8].

В отличие от орошения дождеванием, капельный полив позволяет подавать в почву воду и питательные вещества непосредственно к корневой системе растений регулируемыми малыми порциями через водовыпуски (капельницы) на капельных линиях, что позволяет существенно снизить испарение и потери воды от периферийного стока, обеспечивает интенсивное дыхание корней и способствует лучшему усвоению питательных веществ. В следствие этого снижается

<sup>1</sup> Внесение удобрений сельскохозяйственными организациями Республики Крым 2022 г. <https://82.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/ИАМ%20удобрение%202023.pdf> (дата обращения: 25.02.2025).

<sup>2</sup> Временные оросительные нормы для определения лимита водопотребности годы 50, 75 и 95 % водообеспеченности при выращивании сельскохозяйственных культур на орошении для территории Республики Крым (с Ку 0.4–0.5). [https://gkvod.rk.gov.ru/file/vremennye\\_orositelnye\\_normy.pdf](https://gkvod.rk.gov.ru/file/vremennye_orositelnye_normy.pdf) (дата обращения: 25.02.2025).

испарение с поверхности почвы и суммарное водопотребление, что обеспечивает прибавку урожайности до 50...80 %, сокращение сроков созревания на 5...10 дней, одновременно снижаются до 30...50 % нормы внесения минеральных удобрений и до 40...45 % оросительной воды по сравнению с поливами дождеванием. За счет более высокой урожайности и товарности полученного урожая капельное орошение овощных культур, возделываемых в условиях открытого грунта, обеспечивает более высокую рентабельность их производства [9–14].

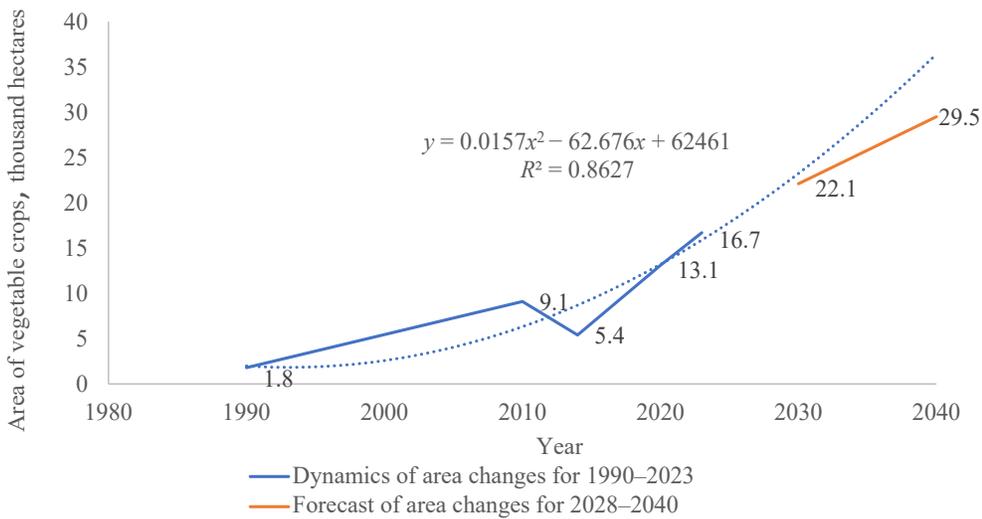
В условиях Республики Крым площади орошаемых земель, на которых полив осуществлялся капельным способом, существенно увеличивались вплоть до 2013 г., затем произошло их существенное сокращение в связи с дефицитом оросительной воды, поступающей по Северо-Крымскому каналу [15]. Однако почти после десятилетнего перерыва ситуация кардинально изменилась и к 2023 г. площадь орошения по технологии капельного орошения в Республике Крым достигла 16,7 тыс. га. Добиться значимых результатов за этот период аграриям Крыма удалось благодаря осуществлению грамотной бюджетной поддержки из средств федерального бюджета в размере более чем 1,7 млрд р<sup>3</sup>.

На основе имеющихся данных с учетом тенденции увеличения площади полива капельным орошением мы спрогнозировали динамику ее дальнейшего изменения до 2040 г. (рис. 2).



**Рис. 2.** Динамика изменения площадей полива капельным орошением  
 Источник: выполнил Д.П. Сидаренко с помощью Microsoft Office Excel.

<sup>3</sup> Почти на 16,7 тыс. гектаров земли в Крыму установили капельное орошение с 2015 по 2023 г. Режим доступа: <https://news-cr.ru/society/2024/07/10/20369.html> (дата обращения: 25.03.2025).



**Fig. 2.** Dynamics of changes in areas irrigated by drip irrigation  
 Source: compiled by D.P. Sidarenko using Microsoft Office Excel.

Полученный прогноз показывает стабильную динамику увеличения площади капельного орошения к 2030 г. до 22,1 тыс. га, а к 2040 г. — 29,5 тыс. га. В сравнении с 2023 г. прибавка может составить до 12,8 тыс. га. О высокой степени соответствия прогноза говорит полученный коэффициент детерминации  $R^2 = 0,87$ .

## Заключение

Анализ изменения за период 2015–2023 гг. состояния площади, занятой овощными культурами в Республике Крым, выявил отрицательную динамику: отмечено стабильное уменьшение площади с 7,3 до 5,8 тыс. га. На фоне этого колебание производства овощной продукции находилось в интервале от 173,0 до 204,8 тыс. т. При этом сократилось количество дождевальных машин и установок с 556 в 2016 г. до 384 в 2023 г. Наблюдается нестабильность в количестве вносимых под овощные культуры минеральных удобрений: в 2020 г. внесено 179 кг/га минеральных удобрений, а в 2023 г. этот показатель составил 265 кг/га. Объем произведенной овощной продукции не покрывает потребностей населения Республики Крым в среднем на 61,46 тыс. т., а учитывая, что Республика является курортным регионом, полученное значение с учетом посещения туристами данного субъекта по итогам 2024 г. необходимо довести в курортный сезон до 740,1 тыс. т.

Площадь орошаемых земель под овощными культурами тоже необходимо расширять. Составленный прогноз показывает возможность довести площадь орошения капельным способом к 2040 г. до 29,5 тыс. га. Считаем целесообразным занять часть таких вновь вводимых площадей под возделывание овощных культур.

## Список литературы

1. *Кравченко К.Н.* Агропромышленный потенциал в современных условиях Российской Федерации на примере сельского хозяйства Республики Крым // *Экономические науки*. 2021. № 195. С. 87–92. doi: 10.14451/1.195.87 EDN: TARTET
2. *Резник Н.Г., Кенько И.М.* Состояние и перспективы выращивания ранних овощебахчевых культур и картофеля в Крыму // *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*. 2015. № 3 (166). С. 10–16. EDN: WFEJBX
3. *Солдатенко А.В., Пивоваров В.Ф., Разин А.Ф., Мещеркова Р.А., Шатилов М.В., Иванова М.И., Тактарова С.В., Разин О.А.* Экономика овощеводства: состояние и современность // *Овощи России*. 2018. № 5 (43). С. 63–68. doi: 10.18619/2072-9146-2018-5-63-68 EDN: YPELXF
4. *Волкова Н.Е., Иванютин Н.М., Тарасенко В.С., Паштейкий В.С., Подовалова С.В.* Рациональное водопользование в Республике Крым: значение, ограничения, подходы к достижению // *Водные ресурсы*. 2022. Т. 49. № 4. С. 372–381. doi: 1031857/5032059622040198 EDN: LGRTHA
5. *Гурина И.В.* К вопросу о производстве овощей открытого грунта в Республике Крым // *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия*. 2024. Т. 93. № 2. С. 277–289. EDN: LSWMUJ
6. *Бондарев Н.С., Бондарева Г.С., Хазиева Е.Е.* Аналитическое исследование потребления овощей в регионах Российской Федерации // *Вестник аграрной науки*. 2020. № 3 (84). С. 83–92. doi: 10.17238/issn2587-666X.2020.3.83 EDN: MNORHI
7. *Nicolaou G., Neocleous D., Katsoulas N., Kittas C.* Dynamic assessment of whitewash shanding and evaporative colling on the greenhouse microclimate and cucumber growth in Mediterranean climate // *Italian Journal of Agrometeorology*. 2018. № 2. P. 15–26. doi: 10.19199/2018.2.2038-5625.015
8. *Тищенко А.П., Сидаренко Д.П.* Определение поливных норм на орошаемых землях Крыма // *Орошаемое земледелие*. 2022. № 3 (38). С. 11–15. doi: 10.35809/2618-8279-2022-3-10 EDN: PWZGMO
9. *Иванютин Н.М., Подовалова С.В.* Анализ использования и перспективы развития различных способов орошения, применяемых в Крыму // *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия*. 2017. № 1. С. 6–11. EDN: YIYAUD
10. *Демин А.П.* Развитие орошения и производство продовольствия в Республике Крым (2014–2020 гг.) // *Орошаемое земледелие*. 2022. № 3 (38). С. 30–34. doi: 10.35809/2618-8279-2022-3-5 EDN: TXCIPG
11. *Акимов С.Э., Доможилкина Ж.В.* Особенности и перспективы развития овощеводства в Республике Крым // *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*. 2018. № 14 (177). С. 160–168. EDN: YLJTDV
12. *Меньших А.М.* Сравнительная эффективность капельного орошения и дождевания при выращивании овощных культур в Подмосковье // *Орошаемое земледелие*. 2020. № 1. С. 42–45. doi: 10.35809/2618-8279-2020-1-9 EDN: CWXUUI
13. *Семененко С.Я., Лытов М.Н., Чушкин А.Н., Чушкина Е.И.* Перспективы капельного орошения овощных культур с использованием электрохимической воды и растворов // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. 2018. № 4 (32). С. 1–19. doi: 10.31774/2222-1816-2018-4-1-19 EDN: YOZHNI
14. *Гурина И.В., Бабичев А.Н., Тагиров Ф.Г., Тищенко А.П.* Орошение томатов открытого грунта: обзор ресурсосберегающих подходов // *Мелиорация и гидротехника*. 2022. Т. 12. № 3. С. 176–192. doi: 10.3174/2712-9357-2022-12-3-176-192 EDN: JRRYFY
15. *Боровой Е.П., Ходяков Е.А., Кременской В.И., Джапарова А.М.* Этапы развития капельного орошения в Крыму // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2020. № 2 (58). С. 29–39. doi: 10.32786/2071-9485-2020-02-02 EDN: TRAPES

## References

1. Kravchenko KN. Agro-industrial potential in modern conditions of the Russian Federation on the example of agriculture of Crimea Republic. *Economic Sciences*. 2021;(195):87–92. (In Russ.). doi: 10.14451/1.195.87 EDN: TARTET
2. Reznik NG, Kenko IM. The state and perspectives of early vegetables, melon crops and potato growing in the Crimea. *Transactions of Taurida Agricultural Science*. 2015;(3):10–16. (In Russ.). EDN: WFEJBX
3. Soldatenko AV, Pivovarov VF, Razin AF, Meshcherekova RA, Shatilov MV, Ivanova MI, et al. The economy of vegetable growing: the state and the present. *Vegetable Crops of Russia*. 2018;(5):63–68. (In Russ.). doi: 10.18619/2072-9146-2018-5-63-68 EDN: YPELXF

4. Volkova NE, Ivanyutin NM, Tarasenko VS, Pashtetsky VS, Podovalova SV. Rational water use in the Republic of Crimea: significance, limitations, and approaches to achieve. *Vodnye Resursy*. 2022;49(4):372–381. (In Russ.). doi: 1031857/5032059622040198 EDN: LGRTHA
5. Gurina IV. On issue of production of open ground vegetables in the Republic of Crimea. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2024;(2):277–289. (In Russ.). EDN: LSWMUJ
6. Bondarev NS, Bondareva GS, Khazieva EE. Analytical study of consumption of vegetables in the regions of the Russian Federation. *Bulletin of Agrarian Science*. 2020;(3):83–92. (In Russ.). doi: 10.17238/issn2587-666X.2020.3.83 EDN: MNORHI
7. Nicolaou G, Neocleous D, Katsoulas N, Kittas C. Dynamic assessment of whitewash shading and evaporative colling on the greenhouse microclimate and cucumber growth in a Mediterranean climate. *Italian Journal of Agrometeorology*. 2018;(2):15–26. doi: 10.19199/2018.2.2038-5625.015
8. Tishchenko AP, Sidarenko DP. Determination of irrigation rates on irrigated lands of the Crimea. *Irrigated agriculture*. 2022;(3):11–15. (In Russ.). doi: 10.35809/2618-8279-2022-3-10 EDN: PWZGMO
9. Ivanyutin NM, Podovalova SV. Analysis of the use and prospects for the development of various irrigation methods used in the Crimea. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2017;(1):6–11. (In Russ.). EDN: YIYAUD
10. Demin AP. Development of irrigation and food production in the Republic of Crimea (2014–2020). *Irrigated Agriculture*. 2022;(3):30–34. (In Russ.). doi: 10.35809/2618-8279-2022-3-5 EDN: TXCIPG
11. Akimov SE, Domozhilkina ZV. Features and prospects of development of vegetable growing in the Republic of Crimea. *Transactions of Taurida Agricultural Science*. 2018;(14):160–168. (In Russ.). EDN: YLJTVD
12. Menshikh AM. Comparative efficiency of drip irrigation and sprinkler irrigation when growing vegetables in the Moscow region. *Irrigated Agriculture*. 2020;(1):42–45. (In Russ.). doi: 10.35809/2618-8279-2020-1-9 EDN: CWXUUI
13. Semenenko SY, Lytov MN, Chushkin AN, Chushkina EI. Prospects for capel irrigation of vegetable crops using electrochemical water and plants. *Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems*. 2018;(4):1–19. (In Russ.). doi: 10.31774/2222-1816-2018-4-1-19 EDN: YOZHNI
14. Gurina IV, Babichev AN, Tagirov FG, Tishchenko AP. In open ground: overview of resource-saving approaches. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2022;12(3):176–192. (In Russ.). doi: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-176-192 EDN: JRRYFY
15. Borovoy EP, Khodiakov EA, Kremenskoy VI, Dzhaparova AM. Stages of drip irrigation development in Crimea. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2020;(2):29–39. (In Russ.). doi: 10.32786/2071-9485-2020-02-02 EDN: TRAPES

#### Об авторах:

Сидаренко Дмитрий Петрович — кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела сельскохозяйственной мелиорации, ФГБНУ «РосНИИПМ», Российская Федерация, 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр-т. Баклановский, д. 190; e-mail: sidarenko1@mail.ru

ORCID: 0000-0002-3273-6499 SPIN-код: 6030-5930

Сидаренко Петр Васильевич — кандидат сельскохозяйственных наук, профессор, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова — филиал Донского государственного аграрного университета, Российская Федерация, 346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, д. 111; e-mail: sidarenko1949@mail.ru

ORCID: 0000-0003-4468-8401 SPIN-код: 1095-0976

#### About authors:

Sidarenko Dmitry Petrovich — Candidate of Agricultural Sciences, Researcher in the Department of Agricultural Land Reclamation, Russian Research Institute of Land Reclamation Problems, 190 Baklanovsky ave., Novocherkassk, Rostov region, 346421, Russian Federation; e-mail: sidarenko1@mail.ru

ORCID: 0000-0002-3273-6499 SPIN-code: 6030-5930

Sidarenko Petr Vasilyevich — Candidate of Agricultural Sciences, Professor, Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A.K. Kortunov — branch of Don State Agrarian University, 111 Pushkinskaya st., Novocherkassk, Rostov region, 346428, Russian Federation; e-mail: sidarenko1949@mail.ru

ORCID: 0000-0003-4468-8401 SPIN-code: 1095-0976



DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-545-565

EDN BVGOFI

УДК 633.853.494

Научная статья / Research article

## Влияние света на скорость роста, развитие и урожайность ярового рапса

М.С. Широкова<sup>1,2</sup>  , А.А. Гришин<sup>1</sup> , А.А. Дорохов<sup>1</sup> ,  
Е.В. Павлова<sup>1</sup> , Н.И. Уютова<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева,  
г. Москва, Российская Федерация

 [m\\_shirokova98@mail.ru](mailto:m_shirokova98@mail.ru)

**Аннотация.** Яровой рапс — одна из важнейших масличных культур в мире. Один цикл развития рапса занимает около пяти — шести месяцев. Сокращение вегетационного периода может значительно уменьшить срок выращивания и ускорить реализацию селекционных и исследовательских проектов. Благодаря этому можно получить до четырех поколений рапса вместо двух или трех в тепличных условиях. Исследования проведены в 2023–2024 г. в двухсекционной климатической камере, разработанной в Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ. Цель исследования — изучить, как влияют на ускорение вегетационного периода рапса увеличение фотопериода и использование различного спектрального состава света. Эксперимент проведен в 4 вариантах: вариант 1 (22/2 RB) — фотопериод 22 ч день / 2 ч ночь и спектральный состав R:40/B:60 (только красно-синий спектр); вариант 2 (22/2 FS) — фотопериод 22 ч день / 2 ч ночь и полный спектр излучения FS ((Full Spectrum): UV0,5: B37: G6,5: Y3: R49: FR4); вариант 3 (16/8 RB) — фотопериод 16 ч / 8 ч ночь и спектральный состав R:40/B:60 (только красно-синий спектр); вариант 4 (16/8 FS) (контроль) — фотопериод 16 ч день / 8 ч ночь и полный спектр излучения FS ((Full Spectrum): UV0,5: B37: G6,5: Y3: R49: FR4). Удалось добиться сокращения вегетационного периода на 14 дней при использовании увеличенного фотопериода (22-часового светового дня) и полного спектра излучения ((Full Spectrum): UV0,5: B37: G6,5: Y3: R49: FR4). Установлено, что варианты 1 и 2 опыта можно использовать для получения семян рапса надлежащего качества. Лучшим оказался вариант 2–22/2 FS с использованием 22-часового светового дня и полного спектра излучения ((Full Spectrum): UV0,5: B37: G6,5: Y3: R49: FR4).

**Ключевые слова:** *Brassica napus* L., увеличенный фотопериод, спектральный состав света, фитотрон, ускоренный рост

© Широкова М.С., Гришин А.А., Дорохов А.А., Павлова Е.В., Уютова Н.И., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

**Вклад авторов:** Широкова М.С. — проведение экспериментальных исследований, написание исходного текста, статистическая обработка; Гришин А.А. — общее руководство научной работой, поиск и первичная систематизация исследуемых данных; Дорохов А.А. — структурирование полученной информации и анализ исследуемых данных; Павлова Е.В. — графический анализ исследуемых данных; Уютова Н.И. — лингвистическое оформление полученного материала. Все авторы ознакомились с окончательной версией рукописи и одобрили ее.

**Заявление о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**История статьи:** поступила в редакцию 21 ноября 2024 г., принята к публикации 22 сентября 2025 г.

**Для цитирования:** Широкова М.С., Гришин А.А., Дорохов А.А., Павлова Е.В., Уютова Н.И. Влияние света на скорость роста, развитие и урожайность ярового рапса // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2025. Т. 20. № 4. 545–565. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-545-565 EDN: BVGOFI

## Effect of light on growth rate, development and yield of spring rapeseed

Maria S. Shirokova<sup>1,2</sup>  , Andrey A. Grishin<sup>1</sup> , Artem A. Dorokhov<sup>1</sup> ,  
Elena V. Pavlova<sup>1</sup> , Nadezhda I. Uytova<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

 m\_shirokova98@mail.ru

**Abstract.** Spring rapeseed is one of the most important oilseed crops worldwide. Currently, one rapeseed development cycle takes about five to six months. Shortening the growing season can significantly reduce the growing period and speed up the realization of breeding and research projects. This could allow up to four generations of rapeseed instead of two or three under greenhouse conditions. Our research was conducted in 2023–2024 in a two-section climatic chamber developed at Federal Scientific Agroengineering Center VIM. The aim of the study was to study the effect of accelerating the growing season of rape by increasing the photoperiod and using different spectral composition of light. The experiment was conducted in 4 variants: Variant 1 (22/2 RB) — photoperiod 22 h day / 2 h night and spectral composition R:40/B:60 (red-blue spectrum only); Variant 2 (22/2 FS) — photoperiod 22 h day / 2 h night and full spectrum FS (UV0.5: B37: G6.5: Y3: R49: FR4); Variant 3 (16/8 RB) — photoperiod 16 h / 8 h night and spectral composition R:40/B:60 (red-blue spectrum only); Variant 4 (16/8 FS) (control) — photoperiod 16 h day / 8 h night and full spectrum (UV0.5: B37: G6.5: Y3: R49: FR4). We achieved a reduction in growing season by 14 days using an extended photoperiod (22-hour daylight hours) and full spectrum radiation (UV0.5: B37: G6.5: Y3: R49: FR4). It was found that variants 1 and 2 used in the experiment could be used to obtain rape seeds of proper quality. The best was variant 2–22/2 FS using 22 hour daylight hours and full spectrum radiation (UV0.5: B37: G6.5: Y3: R49: FR4).

**Keywords:** *Brassica napus* L., extended photoperiod, spectral composition of light, phytotron, accelerated growth

**Authors' contribution:** Shirokova M.S. — conducting experiments, writing the manuscript, statistical processing; Grishin A.A. — general supervision of the research work, search and primary systematization of the studied data; Dorokhov A.A. — structuring the obtained information and analyzing the studied data; Pavlova E.V. — graphical analysis of the studied data; Uytova N.I. — linguistic design of the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

**Conflict of interests.** The authors declared no conflict of interests.

**Article history:** received 21 November 2024; accepted 22 September 2025.

**For citation:** Shirokova MS, Grishin AA, Dorokhov AA, Pavlova EV, Uyutova NI. Effect of light on growth rate, development and yield of spring rapeseed. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(4):545–565. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-545-565 EDN: BVGOFI

## Введение

Рапс (*Brassica napus* L.) — важнейшая (вторая после сои) масличная культура, используемая во всем мире. Возделывание рапса в основном сосредоточено в Азии (до 47 % от мирового объема), Европе (30 %) и Северной Америке (9 %) [1].

Рапс применяют для производства не только пищевого масла и белковой муки, но и топлива [2]. Данная культура востребована в пищевой, химической, косметической и энергетической промышленности [1].

Рапс относится к немногим культурам, для которых обеспечен стабильный рынок сбыта. Как в России, так и на западе на рапс высокий спрос, что обеспечивает экономическую эффективность его производства и способствует поддержанию достаточно высоких цен [3, 4].

Эта культура принадлежит к семейству крестоцветных и представляет собой гибрид капусты и сурепицы. У растения крепкий прямостоячий стебель высотой до 130 сантиметров и зеленые листья среднего размера. Цветы рапса желтого цвета. Стручок имеет среднюю длину, короткую ножку и тонкий длинный носик. Семена маленькие, коричневого или черного цвета.

Масло, получаемое из семян рапса, достаточно калорийно, широко применяется в пищевой промышленности. На фритюр, а также на изготовление маргаринов и майонезов используют около 50 % рапсового масла. Из-за содержания всех важных для организма кислот в оптимальных пропорциях рапсовое считается одним из лучших растительных масел для использования в пищу [4]. В [5] отмечено, что рапсовое масло занимает 5-е место в мире среди растительных масел и находится на одном уровне популярности с маслом из подсолнечника.

Рапс (*Brassica napus* L.) относится к культурам длинного дня, для него важно достаточное количество света без затенения для нормального развития и формирования урожая. Сокращение фотопериода ведет к увеличению вегетативной массы растений, но при этом негативно влияет на содержание жира в семенах, общую семенную продуктивность [6], оптимальные же условия освещения способствуют своевременному переходу растения к цветению [7, 8].

Свет играет важную роль для растений, поскольку он регулирует фотосинтез, морфогенез, метаболизм и транспирацию. Спектральный состав света влияет на многие особенности растений, такие как скорость роста, формирование побегов, корней и направление метаболических процессов. Поэтому технология выращивания рапса должна быть адаптирована к его биологическим особенностям [8].

Синий спектр света стимулирует общий рост растений, увеличение площади листьев и накопление фотосинтетических пигментов. Красный спектр ускоряет развитие корневой системы, удлиняет стебли и увеличивает сухую массу. Дальний красный спектр повышает общую массу растений и влияет на циркадный ритм, устьичную проводимость и дыхание растений [9].

Вегетационный период современных сортов ярового рапса составляет от 80 до 120 сут. [10]. Выращивание в условиях закрытых агроэкосистем с применением увеличенного фотопериода и специально подобранного спектрального состава света может значительно сократить время выращивания и ускорить селекционные и исследовательские программы. Таким образом, можно получить от 4 поколений ярового рапса (*Brassica napus*) вместо 2–3 в условиях теплицы.

Исследования некоторых ученых показали, что выращивание в полностью закрытых камерах роста с контролируемой средой значительно ускоряет развитие растений [11–13].

**Цель исследования** — изучить влияние увеличения фотопериода и использования различного спектрального состава света на ускорение вегетационного периода рапса.

## Материалы и методы исследования

Исследования проведены в отделе Закрытых искусственных агроэкосистем для растениеводства на базе ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФНАЦ ВИМ), г. Москва, с 2023 г. по 2024 г.

**Объект исследований.** Рапс яровой (*Brassica napus oleifera* L.) сорта Галант (селекция ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК) — среднеспелый сорт «00» типа. Вегетационный период у него составляет 78...82 сут., высота растений — 91...121 см, масличность семян — 44,3...47,1 %, масса 1000 семян — 2,8...3,6 г, содержание эруковой кислоты в отжатом масле — 0,27 %, глюкозинолатов в семенах — до 15 мкмоль/г, белка в семенах — 22,8...23,5 %.

Это сорт с маслом и шротом высокого качества, устойчивый к полеганию и основным заболеваниям, технологичный. Адаптирован к разным условиям выращивания и хорошо реагирует на высокий агрофон. Используется для производства семян и на корм.

**Условия выращивания.** Растения выращивались в двухсекционной климатической камере, разработанной сотрудниками ФНАЦ ВИМ (рис. 1).

Климатическая камера оборудована системой автоматики для поддержания заданного уровня влажности от 36 до 95 % и температуры от –25 до 50 °С. Есть возможность регулирования длительности и цикличности светового периода. Камера оснащена пятиканальными управляемыми светильниками (LEDVIM-5), позволяющими изменять спектральный состав и интенсивность освещения.

Во время проведения эксперимента температура в климатической камере составляла 22 °С днем и 17 °С ночью. Относительная влажность воздуха поддерживалась на уровне 60...70 %.



**Рис. 1.** Общий вид двухсекционной климатической камеры с растениями

*Источник:* выполнено А.А. Гришиным, А.А. Дороховым.

**Fig. 1.** General view of a two-section climate chamber with plants

*Source:* compiled by A.A. Grishin, A.A. Dorokhov.

В 5-литровые горшки насыпали 3-сантиметровый слой керамзита для дренажа, далее наполняли их смесью (субстратом) торфа — 40, универсального грунта — 40 и песка — 20 %, рН субстрата был на уровне 5,5...6,5. При подготовке субстрата вносили следующие удобрения: Осмокот (2 г/л), Азофоска Фертика (20 г/м<sup>2</sup>), кальциевая селитра (1 г/л), хелат меди (0,5 г/л), коллоидная сера (1 г/л).

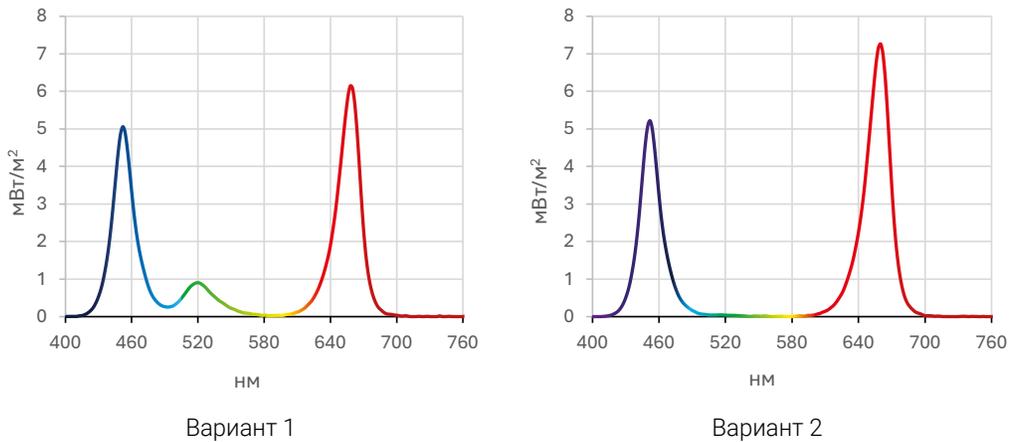
Семена предварительно проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге при температуре 20 °С на свету.

Полив осуществляли ежедневно капельным способом. В начале вегетации по 2 мин в сут., далее увеличивали до 10 мин в сут.

Также осуществляли периодические дополнительные подкормки кальциевой селитрой (1 г/л), хелатом меди (0,5 г/л) и коллоидной серой (1 г/л).

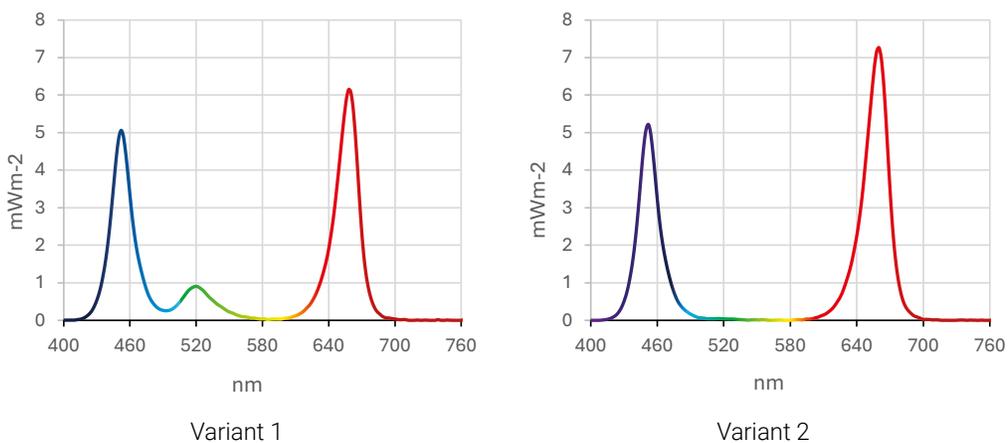
В эксперименте использовали два варианта фотопериода: 22 часа день / 2 часа ночь и 16 часов день / 8 часов ночь.

Помимо различной длины светового дня, выбрали два варианта спектрального состава света. На основании проанализированных источников литературы [14, 15] для контрольного варианта (FS (full spectrum)) освещения решили использовать лампы с полным спектром излучения в следующем соотношении: UV0,5: B37: G6,5: Y3: R49: FR4. В другом варианте опыта (RB (red-blue spectrum)) применялись красно-синие светодиодные осветители с соотношением спектров: R60: B40 (рис. 2).



**Рис. 2.** Спектральный состав вариантов опыта: вариант 1 (FS) — полный спектр излучения с соотношением: UV0,5: B37: G6,5: Y3: R49: FR4; вариант 2 (RB) — красно-синий спектр излучения с соотношением: R60: B40

Источник: выполнено М.С. Широковой, А.А. Дороховым.



**Fig. 2.** Spectral composition of experimental variants: Variant 1 (FS) — full spectrum radiation with the ratio: UV 0.5: B 37: G 6.5: Y 3: R 49: FR 4; Variant 2 (RB) — red-blue spectrum radiation with the ratio: R 60: B 40

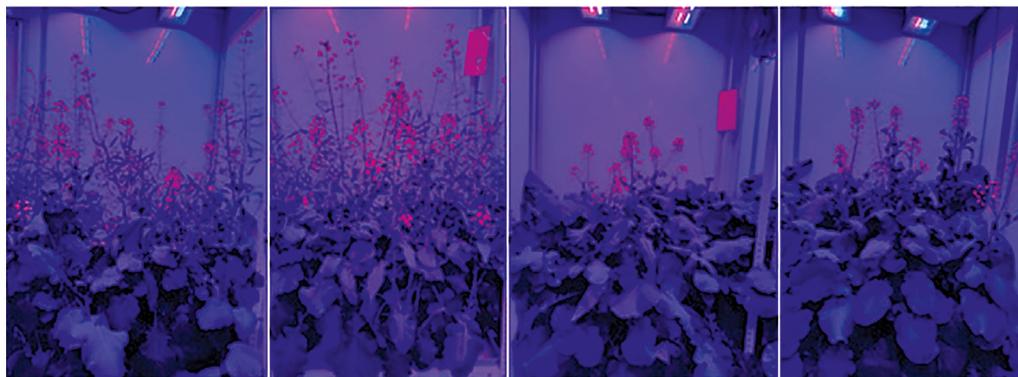
Source: compiled by M.S. Shirokova, A.A. Dorokhov.

Величина плотности фотонного потока PPFD по вариантам опыта составляла  $327 \pm 5$  мкмоль·м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>.

Итого в опыте в целом было четыре варианта (рис. 3):

- вариант 1 (22/2 RB) — фотопериод 22 ч день / 2 ч ночь и спектральный состав R:40/B:60 (только красно-синий спектр);
- вариант 2 (22/2 FS) — фотопериод 22 ч день / 2 ч ночь и полный спектр излучения FS ((Full Spectrum): UV0,5: B37: G6,5: Y3: R49: FR4);

- вариант 3 (16/8 RB) — фотопериод 16 ч / 8 ч ночь и спектральный состав R:40/B:60 (только красно-синий спектр);
- вариант 4 (16/8 FS) (контроль) — фотопериод 16 ч день / 8 ч ночь и полный спектр излучения FS ((Full Spectrum): UV0,5: B37: G6,5: Y3: R49: FR4).



Вариант 1 - 22/2 RB    Вариант 2 - 22/2 FS    Вариант 3 - 16/8 RB    Вариант 4 - 16/8 FS (контроль)

**Рис. 3.** Растения ярового рапса сорта Галант при выращивании под двумя вариантами сочетания фотопериода (22- и 16-часовой световой день) и спектрального состава освещения (R60: B40 и FS (FullSpectrum): UV0,5: B37: G6,5: Y3: R49: FR4)

*Источник:* выполнено М.С. Широковой, А.А. Дороховым.



Variant 1 - 22/2 RB    Variant 2 - 22/2 FS    Variant 3 - 16/8 RB    Variant 4 - 16/8 FS (control)

**Fig. 3.** Spring rapeseed cv. Galant plants grown under two combinations of photoperiod (22- and 16-hour light day) and light spectral composition (R60: B40 and FS (FullSpectrum): UV0.5: B37: G6.5: Y3: R49: FR4)

*Source:* compiled by M.S. Shirokova, A.A. Dorokhov.

В каждом варианте высадили по 64 растения. Всего в эксперименте вырастили 256 растений рапса (рис. 4).

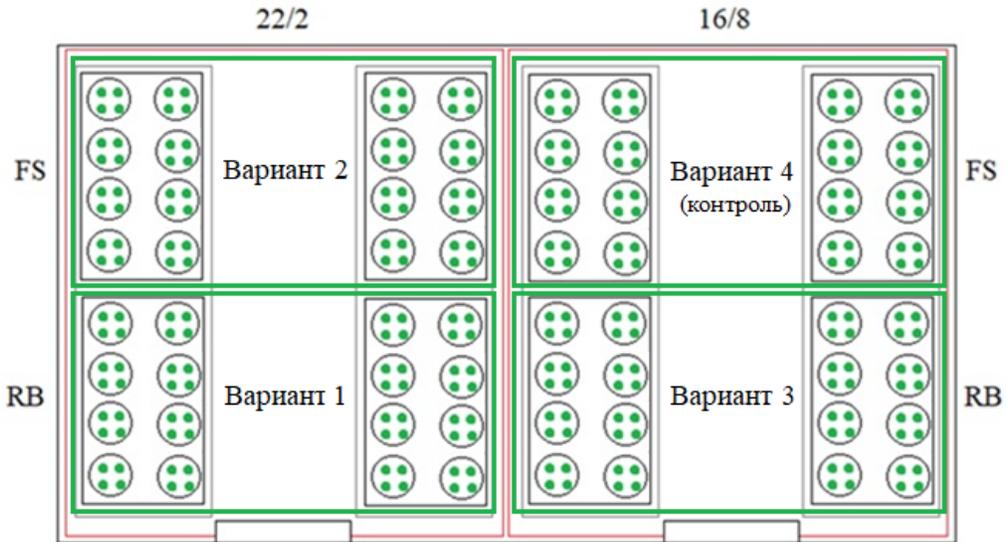


Рис. 4. Схема расположения растений в климатической камере  
Источник: выполнено Н.И. Уютовой.

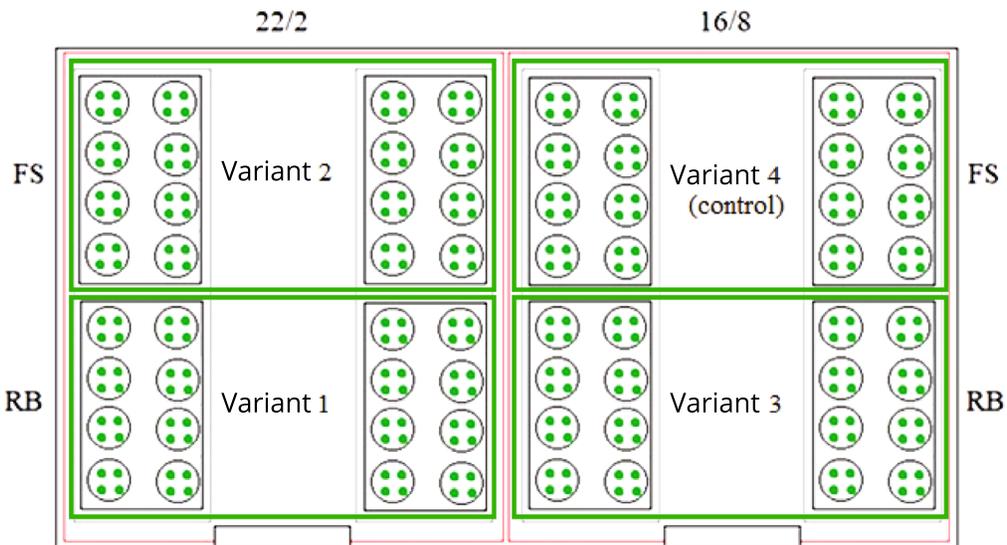


Fig. 4. Diagram of plant arrangement in the climate chamber  
Source: compiled by N.I. Uyutova.

В одном горшке размещали 4 растения. Густота стояния растений составляла 82,4 шт./м<sup>2</sup>, расстояние между растениями в горшках — 10 см.

**Лабораторные исследования.** В качестве критериев оценки влияния спектрального состава света и длины фотопериода на растения выбрали следующие морфологические показатели: высота растений, средняя длина и масса стручка, число семян и их масса в стручке.

Анализ исходного материала для посева и семян, выращенных в двухсекционной климатической камере по вариантам опыта, провели с помощью анализатора NIRS DS2500 (FOSS, Дания). Для определения биохимических показателей исходного материала и полученных семян отбирали по 2 пробы с каждого варианта опыта и помещали в чашу для измерения коэффициента отражения в 8 точках пробы. Данный прибор позволяет определить такие показатели, как влажность, содержание белка, жира и т.д.

Всхожесть и энергию прорастания полученных семян и посевного материала проверяли в соответствии с ГОСТ 12038–84<sup>1</sup>.

Эксперимент проводили в трех повторностях. Статистическую обработку экспериментальных данных производили с помощью Microsoft Excel и программного пакета Statistica.

## Результаты исследования и обсуждение

Скорость наступления и продолжительность цветения, а также уборка стручков с главного стебля и длина вегетационного периода ярового рапса сорта Галант приведены в табл. 1.

Таблица 1

### Влияние фотопериода и спектрального состава освещения на продолжительность межфазных периодов ярового рапса сорта Галант в вариантах опыта

| №            | Параметры                                       | Фотопериод          |            |            |               |
|--------------|---|---------------------|------------|------------|---------------|
|              |   | 22/2                |            | 16/8       |               |
|              |   | Спектральный состав |            |            |               |
|              |   | 1                   | 2          | 3          | 4             |
|              |   | RB                  | FS         | RB         | FS (контроль) |
| 1            | Начало цветения (открытие первого цветка), сут. | 39,7 ± 0,7*         | 34,8 ± 0,4 | 51,3 ± 0,5 | 45,1 ± 0,7    |
| НСР05 = 0,27 |   |                     |            |            |               |
| 2            | Продолжительность цветения, сут.                | 27,4 ± 0,7          | 23,5 ± 0,3 | 67,2 ± 1,9 | 59,8 ± 0,3    |
| НСР05 = 0,32 |   |                     |            |            |               |
| 3            | Уборка стручков с главного стебля, сут.         | 83 ± 0,1            | 78 ± 0,1   | 101 ± 0,3  | 96 ± 0,3      |
| НСР05 = 2,98 |   |                     |            |            |               |
| 4            | Длина вегетационного периода, сут.              | 101 ± 0,2           | 93 ± 0,4   | 112 ± 0,1  | 107 ± 0,1     |
| НСР05 = 2,21 |   |                     |            |            |               |

Примечание. \*Значения представляют собой среднее ± SE ( $n = 12$ ).

Источник: выполнено М.С. Широковой, Е.В. Павловой, Н.И. Уютовой.

<sup>1</sup> ГОСТ Р 12038–84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 19 декабря 1984 г. № 4710-ст. дата введения 1986–07–01. М.: Стандартинформ, 2011. 29 с.

Table 1

**The influence of photoperiod and spectral composition of lighting on duration of interphase periods of spring rapeseed cv. Galant**

| №            | Parameter  | Photoperiod          |            |            |              |
|--------------|--|----------------------|------------|------------|--------------|
|              |  | 22/2                 |            | 16/8       |              |
|              |  | Spectral composition |            |            |              |
|              |  | 1                    | 2          | 3          | 4            |
|              |  | RB                   | FS         | RB         | FS (control) |
| 1            | Beginning of flowering (opening of first flower), days | 39.7 ± 0.7*          | 34.8 ± 0.4 | 51.3 ± 0.5 | 45.1 ± 0.7   |
| HCP05 = 0.27 |  |                      |            |            |              |
| 2            | Duration of flowering, days                            | 27.4 ± 0.7           | 23.5 ± 0.3 | 67.2 ± 1.9 | 59.8 ± 0.3   |
| HCP05 = 0.32 |  |                      |            |            |              |
| 3            | Harvesting of pods from main stem, days                | 83 ± 0.1             | 78 ± 0.1   | 101 ± 0.3  | 96 ± 0.3     |
| HCP05 = 2.98 |  |                      |            |            |              |
| 4            | Length of growing season, days                         | 101 ± 0.2            | 93 ± 0.4   | 112 ± 0.1  | 107 ± 0.1    |
| HCP05 = 2.21 |  |                      |            |            |              |

Note. \*Values represent mean ± SE (n = 12).

Source: compiled by M.S. Shirokova, E.V. Pavlova, N.I. Uyutova.

Анализ результатов (см. табл. 1) указывает на то, что различный спектральный состав освещения и длина фотопериода оказывают влияние на скорость наступления фенологических фаз и длину вегетационного периода растений.

Начало цветения наступило значительно раньше в вариантах 1 и 2 с применением увеличенного фотопериода в среднем на 5,4 суток (11,9 %) и 10,3 суток (22,8 %) соответственно, и на 6,2 суток (13,8 %) позже в 3 варианте по сравнению с контрольным вариантом 4. Продолжительность цветения была существенно сокращена в вариантах 1 и 2 на 32,4 суток (54,2 %) и 36,3 суток (60,7 %) соответственно, и увеличена на 7,4 суток (12,4 %) в варианте 3 по сравнению с контрольным вариантом 4. Уборка стручков с главного стебля была в вариантах 1 и 2 на 13 суток (13,5 %) и 18 суток (18,8 %) соответственно раньше и варианте 3 на 5 суток (5,2 %) позже по сравнению с контрольным вариантом 4. Длина вегетационного периода значительно сократилась, а именно на 6 суток (5,6 %) и 14 суток (13,1 %) в вариантах 1 и 2 соответственно, и увеличилась на 5 суток (4,7 %) в варианте 3 по сравнению с контрольным вариантом 4, длина которого составила 107 суток.

Изучены морфологические показатели рапса в вариантах проведенного опыта (табл. 2).

**Морфологические показатели ярового рапса сорта Галант под влиянием различных сочетаний режимов освещения и состава света**

| №                        | Показатели                           | Фотопериод          |             |             |               |
|--------------------------|--------------------------------------|---------------------|-------------|-------------|---------------|
|                          |                                      | 22/2                |             | 16/8        |               |
|                          |                                      | Спектральный состав |             |             |               |
|                          |                                      | 1                   | 2           | 3           | 4             |
|                          |                                      | RB                  | FS          | RB          | FS (контроль) |
| 1                        | Количество стеблей всего, шт.        | 16,43 ± 0,5*        | 18,11 ± 1,4 | 11,24 ± 1,2 | 12,25 ± 1,3   |
| HCP <sub>05</sub> = 0,25 |                                      |                     |             |             |               |
| 2                        | Количество плодоносящих стеблей, шт. | 13,25 ± 0,7         | 14,75 ± 0,6 | 9,38 ± 1,1  | 11,53 ± 1,1   |
| HCP <sub>05</sub> = 0,18 |                                      |                     |             |             |               |
| 3                        | Количество стручков на стеблях, шт.  | 32,55 ± 0,8         | 41,59 ± 0,8 | 31,75 ± 0,9 | 30,76 ± 0,6   |
| HCP <sub>05</sub> = 0,29 |                                      |                     |             |             |               |
| 4                        | Количество семян в стручке, шт.      | 21,23 ± 0,7         | 21,49 ± 0,5 | 20,98 ± 0,8 | 21,26 ± 0,7   |
| HCP <sub>05</sub> = 0,3  |                                      |                     |             |             |               |

Примечание. \*Значения представляют собой среднее ± SE (n = 12).

Источник: выполнено М.С. Широковой, Е.В. Павловой, Н.И. Уютовой.

Table 2

**Morphological parameters of spring rapeseed cv. Galant under the influence of various combinations of lighting regimes and light composition**

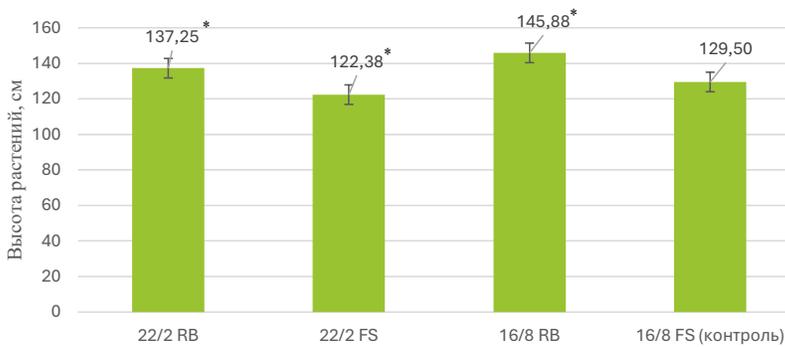
| №                        | Parameter                | Photoperiod          |             |             |              |
|--------------------------|--------------------------|----------------------|-------------|-------------|--------------|
|                          |                          | 22/2                 |             | 16/8        |              |
|                          |                          | Spectral composition |             |             |              |
|                          |                          | 1                    | 2           | 3           | 4            |
|                          |                          | RB                   | FS          | RB          | FS (control) |
| 1                        | Total number of stems    | 16.43 ± 0.5*         | 18.11 ± 1.4 | 11.24 ± 1.2 | 12.25 ± 1.3  |
| HCP <sub>05</sub> = 0.25 |                          |                      |             |             |              |
| 2                        | Number of fruiting stems | 13.25 ± 0.7          | 14.75 ± 0.6 | 9.38 ± 1.1  | 11.53 ± 1.1  |
| HCP <sub>05</sub> = 0.18 |                          |                      |             |             |              |
| 3                        | Number of pods per stems | 32.55 ± 0.8          | 41.59 ± 0.8 | 31.75 ± 0.9 | 30.76 ± 0.6  |
| HCP <sub>05</sub> = 0.29 |                          |                      |             |             |              |
| 4                        | Number of seeds per pod  | 21.23 ± 0.7          | 21.49 ± 0.5 | 20.98 ± 0.8 | 21.26 ± 0.7  |
| HCP <sub>05</sub> = 0.3  |                          |                      |             |             |              |

Note. \*Values represent mean ± SE (n = 12).

Source: compiled by M.S. Shirokova, E.V. Pavlova, N.I. Uyutova.

Из анализа данных табл. 2 видно, что общее количество стеблей было больше в вариантах 1 и 2 на 34,1 и 47,8 % соответственно, а в варианте 3 меньше на 8,2 % по сравнению с контрольным вариантом 4. Среднее количество плодоносящих стеблей значительно увеличилось в вариантах 1 и 2, на 14,92 и 27,9 % соответственно, и снижено на 18,7 % в варианте 3 по сравнению с контрольным вариантом 4. Среднее количество стручков на стеблях было значительно больше в вариантах 1, 2, 3, на 5,8; 35,2 и 3,22 % соответственно, по сравнению с контрольным вариантом 4. Статистический анализ показал, что отклонение числа семян в стручке от контрольного значения не превысило 1,32 % во всех вариантах опыта.

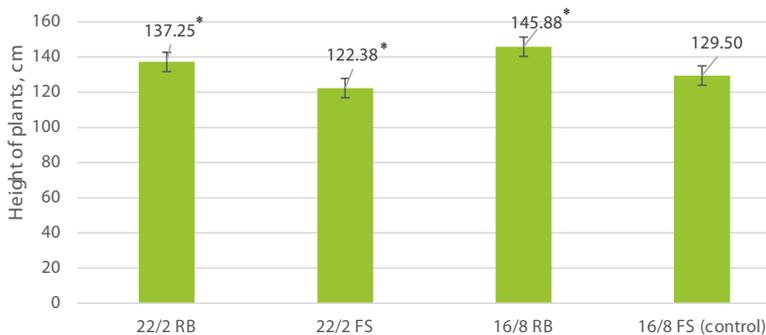
Анализ рис. 5 показывает, что различный спектральный состав света и длина фотопериода повлияли на высоту растений рапса ( $HCPO5 = 0,18$ ). В отличие от контрольного варианта 4 высота растений увеличилась на 6 и 12,6 % соответственно в вариантах 1 и 3 с использованием только красно-синего спектра излучения и уменьшилась на 5,5 % в варианте 2.



**Рис. 5.** Средняя высота растений по вариантам опыта, см:

\*Значения представляют собой среднее  $\pm$  SE ( $n = 12$ )

Источник: выполнено М.С. Широковой, А.А. Гришиным.

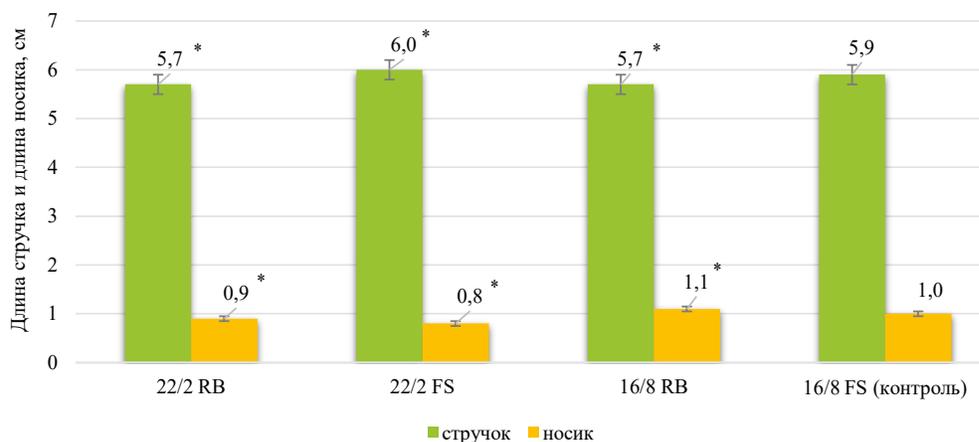


**Fig. 5.** Average height of plants according to the variants:

\*Values represent the mean  $\pm$  SE ( $n = 12$ )

Source: compiled by M.S. Shirokova, A.A. Grishin.

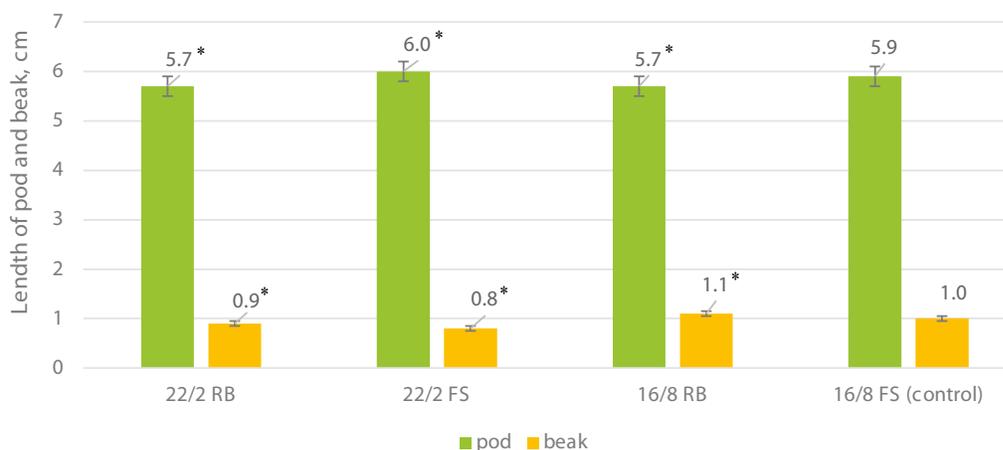
Средняя длина стручка и носика тоже зависели от условий вариантов опыта (рис. 6).



**Рис. 6.** Средняя длина стручка и носика по вариантам опыта, см:

\*Значения представляют собой среднее  $\pm$  SE ( $n = 12$ )

Источник: выполнено М.С. Широковой, А.А. Гришиным.



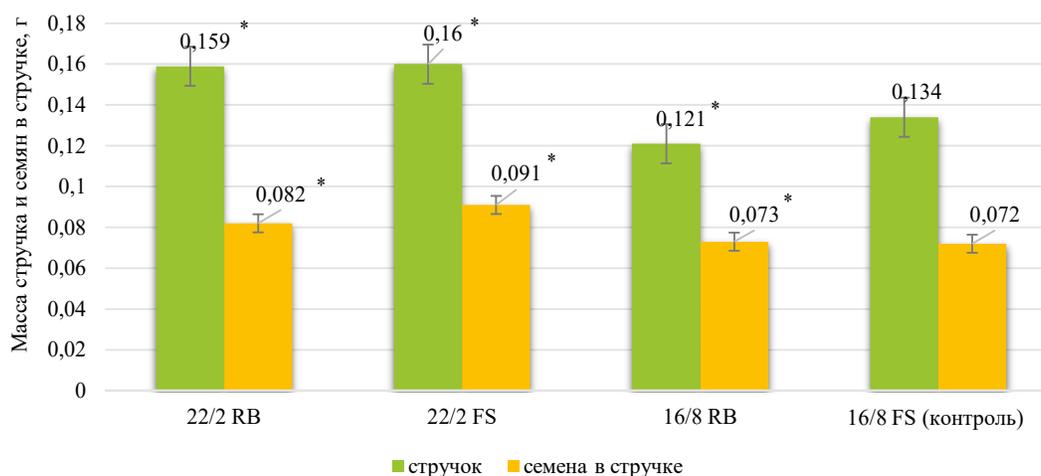
**Fig. 6.** Average length of pod and beak according to the variants:

\*Values represent the mean  $\pm$  SE ( $n = 12$ )

Source: compiled by M.S. Shirokova, A.A. Grishin.

Проанализировав рис. 6, можно сказать, что использование красно-синего спектра излучения (RB) уменьшило длину стручка на 3,4 % (НСР05 = 0,2), а увеличение фотопериода в целом повлияло на сокращение длины носика в вариантах 1 и 2 почти на 20 % (НСР05 = 0,21).

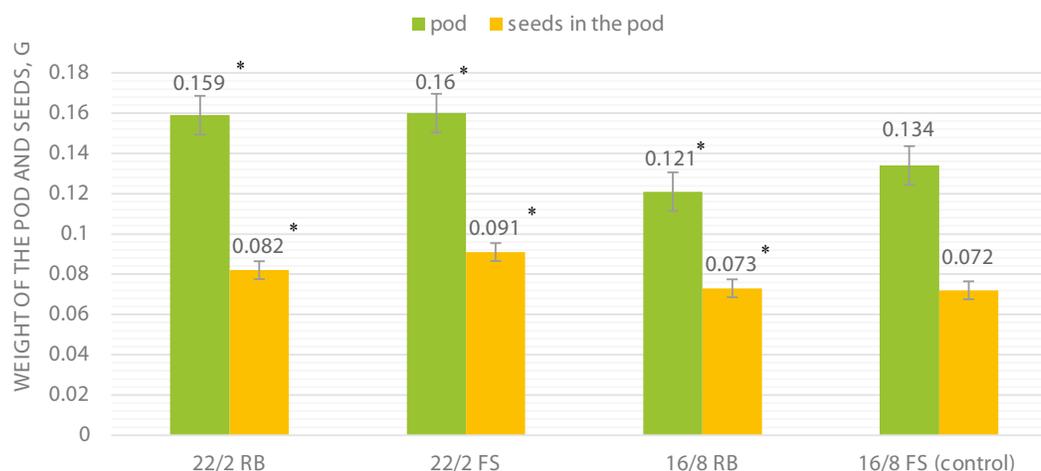
Определили среднюю массу стручка и семян в стручке по вариантам опыта (рис. 7).



**Рис. 7.** Средняя масса стручка и семян в стручке по вариантам опыта, г.

\*Значения представляют собой среднее  $\pm$  SE ( $n = 12$ )

Источник: выполнено М.С. Широковой, А.А. Гришиным.

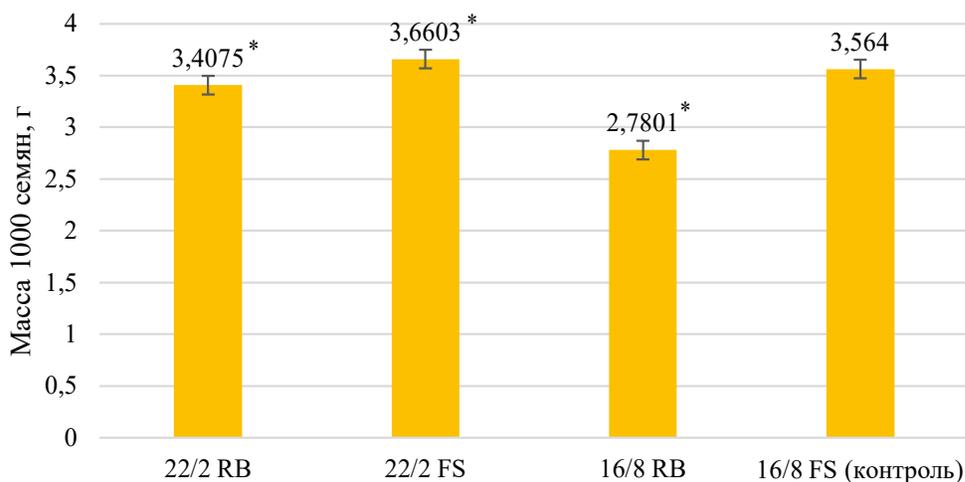


**Fig. 7.** The average weight of pod and seeds in pod according to the variants: \*Values represent the mean  $\pm$  SE ( $n = 12$ )

Source: compiled by M.S. Shirokova, A.A. Grishin.

По данным рис. 7 видно, что масса стручка в отличии от контрольного варианта 4 оказалась больше в вариантах 1 и 2 на 18,6 и 19,4 % соответственно и ниже в варианте 3 на 9,7 % ( $HC_{P05} = 0,002$ ). Средняя масса семян в стручке по сравнению с контролем была больше во всех трех вариантах опыта — на 1,4...26,4 % ( $HC_{P05} = 0,001$ ). По данному показателю наилучшим для рапса оказался вариант 2 (22/2 FS).

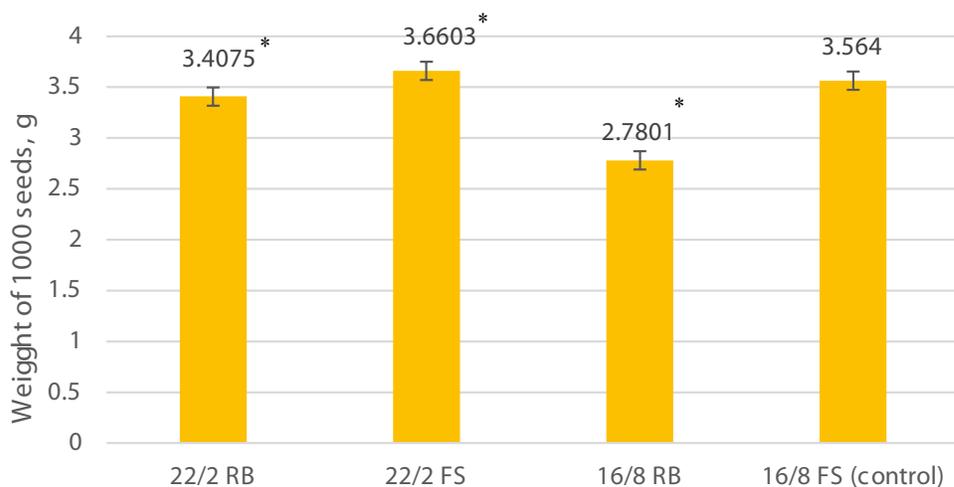
Также сравнивали массу 1000 семян по вариантам опыта (рис. 8).



**Рис. 8.** Масса 1000 семян ярового рапса сорта Галант по вариантам опыта, г:

\*Значения представляют собой среднее  $\pm$  SE ( $n = 12$ )

Источник: выполнено М.С. Широковой, А.А. Гришиным.



**Fig. 8.** The weight of 1000 seeds of spring rapeseed cv. Galant according to the variants:

\*Values represent the mean  $\pm$  SE ( $n = 12$ )

Source: compiled by M.S. Shirokova, A.A. Grishin.

Масса 1000 семян по всем вариантам опыта была в диапазоне значений, указанных в характеристике сорта для выращивания в открытом грунте (2,7...3,6 г). В варианте 2 наблюдалось увеличение показателя на 2,7 % по сравнению с контрольным вариантом 4, а в вариантах 1 и 3 отмечено снижение массы на 4,39 и 21,9 % соответственно.

Проведен анализ биохимических показателей исходных семян и семян, полученных по вариантам опыта (табл. 3).

Таблица 3

**Сравнительная характеристика биохимических показателей полученных семян ярового рапса сорта Галант по вариантам опыта с исходным посевным материалом, %**

| Показатели   | Фотопериод          |              |              |               | Исходный посевной материал |
|--------------|---------------------|--------------|--------------|---------------|----------------------------|
|              | 22/2                |              | 16/8         |               |                            |
|              | Спектральный состав |              |              |               |                            |
|              | 1                   | 2            | 3            | 4             |                            |
|              | RB                  | FS           | RB           | FS (контроль) |                            |
| Белок        | 22,91 ± 0,04 *      | 23,03 ± 0,06 | 19,78 ± 0,02 | 19,89 ± 0,07  | 23,15 ± 0,1                |
| НСР05 = 0,21 |                     |              |              |               |                            |
| Влага        | 9,59 ± 0,02         | 14,47 ± 0,1  | 13,14 ± 0,03 | 14,91 ± 0,04  | 14,92 ± 0,5                |
| НСР05 = 0,16 |                     |              |              |               |                            |
| Жир          | 46,12 ± 0,02        | 46,14 ± 0,09 | 45,25 ± 0,03 | 45,83 ± 0,04  | 46,27 ± 0,5                |
| НСР05 = 0,12 |                     |              |              |               |                            |
| Клетчатка    | 13,77 ± 0,04        | 13,65 ± 0,06 | 13,86 ± 0,02 | 13,76 ± 0,02  | 13,68 ± 0,09               |
| НСР05 = 0,07 |                     |              |              |               |                            |
| Зола         | 2,51 ± 0,02         | 2,42 ± 0,05  | 2,46 ± 0,03  | 2,49 ± 0,02   | 2,13 ± 0,05                |
| НСР05 = 0,03 |                     |              |              |               |                            |

Примечание. \*Значения представляют собой среднее ± SE (n = 12).

Источник: выполнено М.С. Широковой, А.А. Дороховым.

Table 3

**Comparative characteristics of biochemical parameters of obtained seeds of spring rapeseed cv. Galant with parent seed material, %**

| Parameters   | Photoperiod          |              |              |              | Parent seed material |
|--------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|
|              | 22/2                 |              | 16/8         |              |                      |
|              | Spectral composition |              |              |              |                      |
|              | 1                    | 2            | 3            | 4            |                      |
|              | RB                   | FS           | RB           | FS (control) |                      |
| Protein      | 22.91 ± 0.04*        | 23.03 ± 0.06 | 19.78 ± 0.02 | 19.89 ± 0.07 | 23.15 ± 0.1          |
| НСР05 = 0.21 |                      |              |              |              |                      |
| Moisture     | 9.59 ± 0.02          | 14.47 ± 0.1  | 13.14 ± 0.03 | 14.91 ± 0.04 | 14.92 ± 0.5          |
| НСР05 = 0.16 |                      |              |              |              |                      |
| Fat          | 46.12 ± 0.02         | 46.14 ± 0.09 | 45.25 ± 0.03 | 45.83 ± 0.04 | 46.27 ± 0.5          |
| НСР05 = 0.12 |                      |              |              |              |                      |
| Fiber        | 13.77 ± 0.04         | 13.65 ± 0.06 | 13.86 ± 0.02 | 13.76 ± 0.02 | 13.68 ± 0.09         |
| НСР05 = 0.07 |                      |              |              |              |                      |
| Ash          | 2.51 ± 0.02          | 2.42 ± 0.05  | 2.46 ± 0.03  | 2.49 ± 0.02  | 2.13 ± 0.05          |
| НСР05 = 0.03 |                      |              |              |              |                      |

Note: \*Values represent mean ± SE (n = 12).

Source: compiled by M.S. Shirokova, A.A. Dorokhov.

Содержание белка в полученных семенах рапса сорта Галант соответствовало сортовым характеристикам (22,8...23,5 %) в вариантах 1 и 2. В полученных образцах этот показатель отличался от исходного посевного материала и был ниже на 1,04 % в варианте 1, на 0,5 % в варианте 2, на 14,6 % в варианте 3 и 14,1 % в варианте 4. А в отличие от контрольного варианта 4 содержание белка было выше в вариантах 1 и 2 на 15,2 и 15,8 % соответственно и ниже в варианте 3 на 0,5 %.

Содержание жира в полученных семенах соответствовало сортовым характеристикам (44,3...47,1 %) во всех четырех вариантах опыта. В отличие от исходного посевного материала показатель был ниже на 0,32 % в 1-м, на 0,28 % во 2-м, на 2,2 % в 3-м и на 0,95 % в 4-м варианте.

В отличие от контрольного варианта 4 содержание жира было выше в вариантах 1 и 2 на 0,63 и 0,68 % соответственно и ниже в варианте 3 на 1,27 %.

Мы также проверили всхожесть на соответствие ГОСТу 52325–2005<sup>2</sup> (не менее 85 %) и энергию прорастания исходных и полученных семян ярового рапса (табл. 4).

Таблица 4

**Средние значения энергии прорастания и всхожести полученных семян по вариантам опыта и исходного посевного материала рапса сорта Галант, %**

| Показатели                   | Фотопериод          |      |      |               | Исходный посевной материал |
|------------------------------|---------------------|------|------|---------------|----------------------------|
|                              | 22/2                |      | 16/8 |               |                            |
|                              | Спектральный состав |      |      |               |                            |
|                              | 1                   | 2    | 3    | 4             |                            |
|                              | RB                  | FS   | RB   | FS (контроль) |                            |
| Энергия прорастания (3 сут.) | 94                  | 91,7 | 92,5 | 90,2          | 91,1                       |
| Всхожесть (7 сут.)           | 96,8                | 92,9 | 92,6 | 90,4          | 91,3                       |

Источник: выполнено М.С. Широковой, А.А. Дороховым.

Table 4

**Average values of germinating energy and germination ability of the obtained seeds and the parent seed material of rapeseed cv. Galant, %**

| Parameters                   | Photoperiod          |      |      |              | Parent seed material |
|------------------------------|----------------------|------|------|--------------|----------------------|
|                              | 22/2                 |      | 16/8 |              |                      |
|                              | Spectral composition |      |      |              |                      |
|                              | 1                    | 2    | 3    | 4            |                      |
|                              | RB                   | FS   | RB   | FS (control) |                      |
| Germinating energy (3 days)  | 94                   | 91.7 | 92.5 | 90.2         | 91.1                 |
| Germination ability (7 days) | 96.8                 | 92.9 | 92.6 | 90.4         | 91.3                 |

Source: compiled by M.S. Shirokova, A.A. Dorokhov.

<sup>2</sup> ГОСТ Р 52325–2005. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 марта 2005 г. № 63-ст: введен впервые: дата введения 2006–01–01. М.: Стандартинформ, 2006. 38 с.

Семена, полученные по всем вариантам опыта, имеют надлежащую всхожесть (90,4...96,8 %) и пригодны для дальнейшего использования.

### Заключение

В результате выращивания ярового рапса сорта Галант в искусственных агроэкосистемах в условиях двух вариантов фотопериода (22- и 16-часовой световой день) и спектрального состава освещения (R60: B40 и FS (Full Spectrum): UV0,5: B37: G6,5: Y3: R49: FR4) в 4 вариантах (вариант 1–22/2 RB, вариант 2–22/2 FS, вариант 3–16/8 RB и вариант 4 (контроль) — 16/8 FS) выявлено следующее:

1) в варианте фотопериода с увеличенным световым днем до 22 часов по сравнению с 16-часовым:

– ускоряется начало цветения на 5,4...10,3 сут. (в вариантах 1 и 2 цветение началось по прошествии 34,8...39,7 сут.);

– сокращается вегетационный период на 6...14 сут. (урожай собран на 93...101-е сутки);

– увеличивается общее количество стеблей (на 34,1...47,8 %) и плодоносящих стеблей (на 14,9...27,9 %);

– увеличивается количество стручков (на 5,8...35,2 %) и их средняя масса (на 18,6...19,4 %);

2) в зависимости от спектрального состава освещения:

– в красно-синем спектре (R60: B40) увеличивается высота растений (на 6...12,6 %), но снижается длина стручков (на 3,4 %) и масса 1000 семян (на 4,4...21,9 %);

– полный спектр (FS) повышает общую продуктивность растений (масса 1000 семян увеличилась на 25,3 % (по сравнению с красно-синим спектром)).

Рекомендации: для получения качественного посевного материала оптимален 22-часовой световой день (варианты 1 и 2), так как 16-часовой приводит к снижению содержания белка (19,78...19,89 % против 22,8...23,5 %), а также полный спектр излучения, так как он оказался эффективнее для получения наибольшей продуктивности, тогда как красно-синий спектр повлиял в основном только на морфологию растений.

### Список литературы

1. Черкасова Е.А., Рзаева В.В. Влияние элементов технологии возделывания на продуктивность сортов и гибридов ярового рапса: монография. Тюмень : ГАУ Северного Зауралья, 2024. 258 с. EDN: KMLMTN

2. Баюров Л.И. Рапс — культура будущего! // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 167. С. 1–19. doi: 10.21515/1990-4665-167-001 EDN: GMSPQA

3. Голова А.А., Горлова Л.А. Изменчивость основных жирных кислот масла современных линий озимого и ярового рапса селекции ВНИИМК // Актуальные вопросы биологии, селекции, технологии возделывания и переработки масличных и других технических культур : сб. материалов 10-й Всерос. конф. с междунар. участием молод. ученых и специалистов, Краснодар, 26–28 февраля 2019 г. Краснодар : Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур им. В.С. Пустовойта, 2019. С. 37–40. EDN: LLYAFN

4. *Кашеваров Н.И., Нурлыгаянов Р.Б., Ахметгареев Р.Ф.* Развитие производства ярового рапса в Западной Сибири. Кемерово : Кемеровский гос. сельскохозяйств. ин-т, 2015. 186 с. EDN: UHCADR
5. *Анисимова И.Н., Дубовская А.Г.* Системы ЦМС у рапса и их использование в селекции отечественных гибридов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181. № 3. С. 171–180. doi: 10.30901/2227-8834-2020-3-171-180 EDN: NSDDRT
6. *Аутко А.А., Привалов Ф.И., Пестис В.К. и др.* Научные основы технологий возделывания озимых зерновых культур, рапса и кукурузы / Национальная академия наук Беларуси, Научно-практический центр по земледелию, Министерство сельского хозяйства и продовольствия, Гродненский государственный аграрный университет. Минск : Беларуская навука, 2021. 493 с. EDN: ECCXCX
7. *Rondanini D.P., Gomez N.V., Agosti M.B., Miralles D.J.* Global trends of rapeseed grain yield stability and rapeseed-to-wheat yield ratio in the last four decades // *European Journal of Agronomy*. 2012. Vol. 37. № 1. P. 56–65. doi: 10.1016/j.eja.2011.10.005
8. *Gan Y., Angadi S.V., Cutforth H., Potts D., Angadi V.V., McDonald C.L.* Canola and mustard response to short periods of temperature and water stress at different developmental stages // *Canadian Journal of Plant Science*. 2004. Vol. 84. № 3. P. 697–704. doi: 10.4141/P03-109
9. *Кулешова Т.Э., Удалова О.Р., Балашова И.Т., Аникина Л.М., Конончук П.Ю., Мирская Г.В., Дубовицкая В.И., Вертебный В.Е., Хомяков Ю.В., Панова Г.Г.* Особенности влияния спектра излучения на продуктивность и биохимический состав тестовых плодовых и листовых овощных культур // Журнал технической физики. 2022. Т. 92. № 7. С. 1060–1068. doi: 10.21883/JTF.2022.07.52663.343-21 EDN: VQAOQE
10. *Черятова Ю.С., Ембатунова Е.Ю., Соломонова Е.В., Монахос С.Г.* Морфометрическая характеристика плодов рапса (*Brassica napus* L.) // *Естественные и технические науки*. 2023. № 8 (183). С. 85–87. EDN: GKXESC
11. *Watson A., Ghosh S., Williams M.J. et al.* Speed breeding is a powerful tool to accelerate crop research and breeding // *Nature Plants*. 2018. № 4. P. 23–29. doi: 10.1038/s41477-017-0083-8
12. *Hickey L.T., Hafeez A.N., Robinson H., Jackson S.A. et al.* Breeding crops to feed 10 billion // *Nature Biotechnology*. 2019. Vol. 37. № 7. P. 744–754. doi: 10.1038/s41587-019-0152-9 EDN: IVAVZO
13. *Ahmar S., Gill R.A., Jung K.-H., Faheem A., Qasim M.U., Mubeen M., Zhou W.* Conventional and Molecular Techniques from Simple Breeding to Speed Breeding in Crop Plants: Recent Advances and Future Outlook // *International Journal of Molecular Sciences*. 2020. Vol. 21. № 7. Art. 2590. doi: 10.3390/ijms21072590 EDN: FTVFFY
14. *Shengxin C., Chunxia L., Xuyang Y., Song C., Xuelei J., Xiaoying L., Zhigang X., Rongzhan G.* Morphological, Photosynthetic, and Physiological Responses of Rapeseed Leaf to Different Combinations of Red and Blue Lights at the Rosette Stage // *Frontiers in Plant Science*. 2016. Vol. 7. P. 1144. doi: 10.3389/fpls.2016.01144 EDN: WPVIZD
15. *Курилова Д.А., Бушнев А.С., Семеренко С.А., Беляев Ю.М., Саенко Ю.А.* Влияние свето-импульсной обработки семян рапса ярового на лабораторную всхожесть и семенную инфекцию // *Масличные культуры*. 2022. № 4 (192). С. 79–83. doi: 10.25230/2412-608X-2022-4-192-79-83 EDN: DTOAKK

## References

1. Cherkasova EA, Rzaeva VV. *Vliyanie elementov tekhnologii vzdelyvaniya na produktivnost' sortov i gibrinov yarovogo rapsa* [Influence of cultivation technology elements on the productivity of spring rapeseed varieties and hybrids]. Tyumen; 2024. (In Russ.). EDN: KMLMTN
2. Bayurov LI. Rapeseed — the culture of the future! *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2021;(167):1–19. (In Russ.). doi: 10.21515/1990-4665-167-001 EDN: GMSPOA
3. Golova AA, Gorlova LA. Variability of main fatty acids of oil of the modern lines of spring and winter rapeseed of VNIIMK's breeding. In: *Current Issues in Biology, Breeding, Technology of Cultivation and Processing of Oilseeds and Other Industrial Crops: conference proceedings*. Krasnodar; 2019. p.37–40. (In Russ.). EDN: LLYAFN
4. Kashevarov NI, Nurgayyanov RB, Akhmetgareev RF. *Razvitie proizvodstva yarovogo rapsa v Zapadnoi Sibiri* [Development of spring rapeseed production in Western Siberia]. Kemerovo; 2015. (In Russ.). EDN: UHCADR
5. Anisimova IN, Dubovskaya AG. CMS systems in rapeseed and their use in breeding domestic hybrids. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(3):171–180. (In Russ.). doi: 10.30901/2227-8834-2020-3-171-180 EDN: NSDDRT

6. Autko AA, Privalov FI, Pestis VK, Grakun VV, Kas'yanchik SA, Pilyuk YE, et al. *Nauchnye osnovy tekhnologii vozdeleyvaniya ozimyykh zernovykh kul'tur, rapsa i kukuruzy* [Scientific foundations of cultivation technologies of winter grain crops, rapeseed, and corn]. Minsk; 2021. (In Russ.). EDN: ECCCXC
7. Rondanini DP, Gomez NV, Agosti MB, Miralles DJ. Global trends of rapeseed grain yield stability and rapeseed-to-wheat yield ratio in the last four decades. *European Journal of Agronomy*. 2012;37(1):56–65. doi: 10.1016/j.eja.2011.10.005
8. Gan Y, Angadi SV, Cutforth H, Potts D, Angadi VV, McDonald CL. Canola and mustard response to short periods of temperature and water stress at different developmental stages. *Canadian Journal of Plant Science*. 2004;84(3):697–704. doi: 10.4141/P03-109
9. Kuleshova TE, Udalova OR, Balashova IT, Anikina LM, Kononchuk PY, Mirskaya GV, et al. Features of the lighting spectrum influence on the productivity and biochemical composition of test fruit and leaf vegetable crops. *Zhurnal tekhnicheskoi fiziki*. 2022;92(7):1060–1068. doi: 10.21883/JTF.2022.07.52663.343-21 EDN: VQAQQE
10. Cheryatova YS, Embaturova EY, Solomonova EV, Monakhos SG. Morphometric characteristics of rapeseed fruits (*Brassica napus* L.). *Natural and Technical Sciences*. 2023;(8):85–87. EDN: GKXESC
11. Watson A, Ghosh S, Williams MJ, Cuddy WS, Simmonds J, Rey MD, et al. Speed breeding is a powerful tool to accelerate crop research and breeding. *Nature Plants*. 2018;(4):23–29. doi: 10.1101/161182
12. Hickey LT, Hafeez AN, Robinson H, Jackson SA, Leal-Bertioli SC, Tester M. Breeding crops to feed 10 billion. *Nature Biotechnology*. 2019;37(7):744–754. doi: 10.1038/s41587-019-0152-9 EDN: IVAVZO
13. Ahmar S, Gill RA, Jung KH, Faheem A, Qasim MU, Mubeen M, et al. Conventional and molecular techniques from simple breeding to speed breeding in crop plants: recent advances and future outlook. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020;21(7):2590. doi: 10.3390/ijms21072590 EDN: FTVFFY
14. Shengxin C, Chunxia L, Xuyang Y, Song C, Xuelei J, Xiaoying L, et al. Morphological, photosynthetic, and physiological responses of rapeseed leaf to different combinations of red and blue lights at the rosette stage. *Front Plant Science*. 2016;7:1144. doi: 10.3389/fpls.2016.01144
15. Kurilova DA, Bushnev AS, Semerenko SA, Belyaev YM, Saenko YA. Effect of light pulse treatment of seeds of spring rapeseed on the germinating ability and seed infection. *Oil Crops*. 2022;(4):79–83. doi: 10.25230/2412-608X-2022-4-192-79-83 EDN: DTOAKK

#### Об авторах:

*Широкова Мария Сергеевна* — аспирант кафедры молекулярной селекции, клеточных технологий и семеноводства, Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; младший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных роботизированных средств и климатического оборудования для закрытых экосистем, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5; e-mail: m\_shirokova98@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-9049-1039 SPIN-код: 1973-9717

*Гришин Андрей Александрович* — кандидат экономических наук, старший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных роботизированных средств и климатического оборудования для закрытых экосистем, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5; e-mail: 5145412@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-1670-4577 SPIN-код: 5917-1146

*Дорохов Артём Александрович* — кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных роботизированных средств и климатического оборудования для закрытых экосистем, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5; e-mail: dorokhov-91@yandex.ru  
ORCID: 0000-0002-7946-5729 SPIN-код: 1125-7140

*Павлова Елена Валерьевна* — младший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных роботизированных средств и климатического оборудования для закрытых экосистем, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5; e-mail: elena\_pavlova85@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-4607-4801 SPIN-код: 2723-1382

*Уютова Надежда Игоревна* — младший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных роботизированных средств и климатического оборудования для закрытых экосистем, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5; e-mail: [nadya.ujutova@mail.ru](mailto:nadya.ujutova@mail.ru)

ORCID: 0000-0001-5975-3849 SPIN-код: 2853-6382

**About authors:**

*Shirokova Maria Sergeevna* — PhD Student, Department of Molecular Breeding, Cell Technologies and Seed Production, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127434, Russian Federation; Junior Researcher, Laboratory of Intelligent Robotic Tools and Climate Control Equipment for Closed Ecosystems, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5 1st Institutsky proezd, Moscow, 109428, Russian Federation; e-mail: [m\\_shirokova98@mail.ru](mailto:m_shirokova98@mail.ru)

ORCID: 0000-0002-9049-1039 SPIN-code: 1973-9717

*Grishin Andrey Alexandrovich* — Candidate of Economical Sciences, Senior Research Scientist, Laboratory of Intelligent Robotic Tools and Climate Control Equipment for Closed Ecosystems, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5 1st Institutsky proezd, Moscow, 109428, Russian Federation; e-mail: [5145412@mail.ru](mailto:5145412@mail.ru)

ORCID: 0000-0002-1670-4577 SPIN-code: 2644-4840

*Dorokhov Artem Alexandrovich* — Candidate of Technical Sciences, Senior Research Scientist, Laboratory of Intelligent Robotic Tools and Climate Control Equipment for Closed Ecosystems, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5 1st Institutsky proezd, Moscow, 109428, Russian Federation; e-mail: [dorokhov-91@yandex.ru](mailto:dorokhov-91@yandex.ru)

ORCID: 0000-0002-7946-5729 SPIN-code: 1125-7140

*Pavlova Elena Valerievna* — Junior Research Scientist, Laboratory of Intelligent Robotic Tools and Climate Control Equipment for Closed Ecosystems, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5 1st Institutsky proezd, Moscow, 109428, Russian Federation; e-mail: [elena\\_pavlova85@mail.ru](mailto:elena_pavlova85@mail.ru)

ORCID: 0000-0002-4607-4801 SPIN-code: 2723-1382

*Ujutova Nadezhda Igorevna* — Junior Research Scientist, Laboratory of Intelligent Robotic Tools and Climate Control Equipment for Closed Ecosystems, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5 1st Institutsky proezd, Moscow, 109428, Russian Federation; e-mail: [nadya.ujutova@mail.ru](mailto:nadya.ujutova@mail.ru)

ORCID: 0000-0001-5975-3849 SPIN-code: 2853-6382



DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-566-576

EDN BVJLMC

УДК 629.114.2: 631.3.06:631.51: 631.172.003.12

Научная статья / Research article

## Возделывание сои по технологии Strip-Till в условиях Предкавказья

Ю.А. Кузыченко Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, г. Михайловск, Российская  
Федерация✉ [smc.yuka@yandex.ru](mailto:smc.yuka@yandex.ru)

**Аннотация.** Приведены результаты исследований по применению оригинальной технологии Strip-Till при возделывании сои на южном черноземе в зоне неустойчивого увлажнения юго-восточной части Ставропольского края, поскольку производство белковых продуктов ориентировано на снижение производственных и энергетических затрат. При этом наиболее перспективным вариантом данной технологии является раздельное формирование обработанных почвенных полос с осени и посев семян специальной сеялкой весной, в отличие от комбинированного весеннего посева. Оригинальность предлагаемого подхода, в отличие от классически принятой технологии Strip-Till под пропашные культуры, заключается в предварительном применении дисковой обработки почвы на фоне внесения по стерне системного гербицида с целью создания почвенно-соломистой мульчи, служащей защитным экраном от испарения влаги из почвы. Установлены большие значения: на 10,1 % — количество агрономически ценных агрегатов 10...0,25 мм и на 0,9 ед. — коэффициента структурности при обработке почвы культиватором — щелерезом в сравнении с отвальной вспашкой. Соответственно меньшему средневзвешенному диаметру агрегатов при технологии Strip-Till в сравнении со вспашкой на 1,3 мм в период весенней вегетации соответствует большая (на 0,02 г/см<sup>3</sup>) плотность почвы, а следовательно, и более высокая на (4 %) капиллярная пористость. При увеличении объема (20,6 %) капиллярных пор по стойке культиватора при технологии Strip-Till в период весенней вегетации возрос и запас продуктивной влаги — на 6 мм в сравнении с традиционной обработкой почвы. Поэтому значение показателя фрактальной геометрии  $D = 0,93$  при технологии Strip-Till выше, чем при с традиционной ( $D = 0,77$ ). Отмечено и существенное увеличение урожайности сои — на 0,13 т/га — при рентабельности 163 %, тогда как снижение производственных затрат составило 4 %.

**Ключевые слова:** бобовая культура, обработка почвы, формирование полос, строчный посев, Ставрополье

© Кузыченко Ю.А., 2025

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

**Финансирование.** Работа выполнена по теме Государственного задания № 0725-2017-0027 «Усовершенствовать приемы основной обработки почвы под полевые культуры и изучить различные виды севооборотов в агроландшафтах различных зон Ставропольского края».

**Заявление о конфликте интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**История статьи:** поступила в редакцию 20 марта 2025 г., принята к публикации 25 сентября 2025 г.

**Для цитирования:** Кузыченко Ю.А. Возделывание сои по технологии Strip-Till в условиях Предкавказья // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2025. Т. 20. № 4. 566–576. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-566-576 EDN: BVJLMC

## Cultivation of soybeans using Strip-Till technology in the Pre-Caucasian region

Yuri A. Kuzychenko 

North Caucasian Federal Scientific Agrarian Center, *Mikhailovsk, Russian Federation*

✉ smc.yuka@yandex.ru

**Abstract.** The results of research on the use of the original Strip-Till technology in cultivation of soybeans on the southern chernozem in the zone of unstable moisture in the southeastern part of the Stavropol Territory are presented, since the production of protein products is aimed at reducing production and energy costs. Moreover, the most promising option for this technology is the separate formation of treated soil strips in autumn and sowing seeds with a special seed drill in spring, in contrast to combined spring sowing. The originality of the approach in research on this technology, in contrast to the classically accepted Strip-Till technology for row crops, lies in the preliminary use of disc soil tillage combined with post-stubble application of a systemic herbicide to create a soil-and-stubble mulch that serves as a protective barrier against soil moisture evaporation. According to the results of the conducted studies, a greater (by 10.1%) number of agronomically valuable aggregates of 10–0.25 mm, and a higher coefficient (by 0.9 units) of structurality were found during soil cultivation with a cultivator-slitter compared to moldboard plowing. Corresponding to the smaller mean-weighted aggregate diameter under the Strip-Till technology versus plowing (1.3 mm) during the spring growing season is a higher soil density (by 0.02 g/cm<sup>3</sup>) and, consequently, a higher capillary porosity (by 4%). With an increase in the volume (20.6%) of capillary pores along the cultivator row under the Strip-Till technology during the spring growing season, the reserve of productive moisture also increased — by 6 mm compared with conventional tillage. Therefore, the value of the fractal geometry index  $D = 0.93$  for the Strip-Till technology is higher in comparison with conventional technology ( $D = 0.77$ ). A significant increase in soybean yield was also noted — by 0.13 t/ha — with profitability of 163%, while production costs decreased by 4%.

**Key words:** legume crop, tillage, Strip-Till technology, row seeding, Pre-Caucasus

**Funding.** The work was carried out under State Assignment No. 0725-2017-0027 “To improve the primary tillage techniques for field crops and to study various types of crop rotations in agricultural landscapes of various zones of the Stavropol Territory”.

**Conflict of interests.** The author declared no conflict of interests.

**Article history:** received 20 March 2025; accepted 25 September 2025.

**For citation:** Kuzychenko YA. Cultivation of soybeans using Strip-Till technology in the Pre-Caucasian region. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(4):566–576. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-566-576 EDN: BVJLMC

## Введение

Внедрение инновационных технологий возделывания сои в Российской Федерации является приоритетным направлением в плане нивелирования природных рисков [1–5]. Снижение влияния дефляционных факторов на почву, сохранение продуктивного запаса влаги и уменьшение технологических затрат в процессе выполнения основных технологических операции по возделывании сои по технологии Strip-Till выступают основными задачами энергосбережения [6, 7]. Оригинальность технологии заключается в том, что на фоне применения глифосата обрабатываются только полосы для посева пропашных культур, а в междурядьях сохраняется стерня предшествующей культуры [8–11]. Этот прием позволяет сохранить продуктивный запас влаги и эффективно бороться с сорной растительностью [12]. На практике реализуются как раздельная технология с обработкой почвы осенью и посевом кукурузы специальной сеялкой весной, так и комбинированная технология, проводимая в весенний период. Осенне-весенняя технология Strip-Till снижает удельные топливные затраты и позволяет качественно вносить жидкие удобрения по профилю почвы [13]. Однако вопрос сохранения продуктивного запаса влаги (до 27 мм) может быть решен также созданием почвенно-соломистой мульчи на поверхности почвы в результате поверхностной дисковой обработки, взамен полного оставления стерни, сохраняющего 23,7 мм влаги [14]. Наличие определенного количества продуктивной влаги влияет на интенсивность развития корневой системы растения, характеризуемую степенью заполнения объема почвенного пространства корнями [15].

**Цель исследования** — определить урожайность и экономические показатели возделывания сои при внедрении модернизированной технологии Strip-Till.

## Материалы и методы исследования

В научно-производственном опыте для зоны неустойчивого увлажнения юго-восточной части Ставропольского края исследования проводили с 2018 по 2021 г. Почва — чернозем южный карбонатный, среднемощный, слабогумусированный. Гумус в слое — 20 см — 2,7 %; нитратный  $\text{NO}_3 = 10$  мг/кг;  $\text{P}_2\text{O}_5 = 12,6$  мг/кг;  $\text{K}_2\text{O} = 314,7$  мг/кг. Предшественник — озимая пшеница. Системы обработки: при традиционной технологии — дисковое лущение Catros 8...10 см, вспашка на глубину 20–25 см; при технологии Strip-Till — дисковое лущение Catros 8...10 см, внесение гербицида (глифосат + зеромакс 2,4Д), нарезка полос культиватором — щелерезом Blu-Jet. Система удобрений: вспашка — КАСС в октябре (143 кг/га); Strip-Till — КАСС в октябре (143 кг/га) с емкостью к культиватору — щелерезу на глубину 20 см. Сорт сои — Фурио, Канада. Интенсивность развития корневой системы сои при различных технологиях оценивали по показателю фрактальной размерности  $D = \ln Kb / \ln K_1$ , учитывающему относительное количество корней  $Kb$  и их длину  $K_1$  [14].

## Результаты исследования и обсуждение

Природно-климатические условия 2018–2021 гг. показали тенденцию к увеличению среднемесячной температуры осеннего периода по годам исследований на 1,3 °С и значимому ее увеличению в весенне-летний период — на 1,75 °С, при жестком температурном режиме мая, июня и июля месяца с превышением температуры от среднемноголетней в диапазонах 0,9...2,8, 1,9...4,6 и 0,8...3,1 °С соответственно. Установлено снижение среднемесячного количества осадков весеннего периода по годам исследований на 10,9 мм при критическом снижении режима осадков июня 2019 г. на 49,6 мм и июля 2020 г. на 51,4 мм, т.е. отмечена интенсивная аридизация климатических условий.

В отношении агрофизических условий в пахотном слое почвы при технологии Strip-Till весной установлены: по структурному составу большее количество агрономически ценных агрегатов почвы — в среднем на 10,1 % и больший (на 0,9 ед.) коэффициент структурности (табл. 1).

Таблица 1

### Структурно-агрегатный состав почвы

| Система обработки       | Место отбора   | Период обработки |                           |           |                 |                           |           |
|-------------------------|----------------|------------------|---------------------------|-----------|-----------------|---------------------------|-----------|
|                         |                | Весенний         |                           |           |                 | Летне-осенний             |           |
|                         |                | 10...0,25 мм     | Коэффициент структурности | < 1 мм, % | 10...0,25 мм, % | Коэффициент структурности | < 1 мм, % |
| Классическая технология | —              | 69,6             | 1,5                       | 28,4      | 56,8            | 1,3                       | 21,7      |
| Strip-Till              | По стойкам     | 83,5             | 2,5                       | 24,2      | 75,3            | 1,9                       | 25,3      |
|                         | Между стойками | 71,4             | 2,04                      | 30,4      | 65,1            | 1,5                       | 25,7      |
| Среднее                 |                | 77,4             | 2,4                       | 29,0      | 70,2            | 1,7                       | 25,5      |

Источник: выполнено Ю.А. Кузыченко.

Table 1

### Structural and aggregate composition of the soil

| Processing system  | Place of sampling | Spring period |                              |           |               | Summer and autumn period     |           |
|--------------------|-------------------|---------------|------------------------------|-----------|---------------|------------------------------|-----------|
|                    |                   | 10–0.25 mm    | Coefficient of structurality | < 1 mm, % | 10–0.25 mm, % | Coefficient of structurality | < 1 mm, % |
| Classic technology | —                 | 69.6          | 1.5                          | 28.4      | 56.8          | 1.3                          | 21.7      |

Ending table 1

| Processing system | Placeof sampling  | Spring period |                              |           |               | Summer and autumn period     |           |
|-------------------|-------------------|---------------|------------------------------|-----------|---------------|------------------------------|-----------|
|                   |                   | 10–0.25 mm    | Coefficient of structurality | < 1 mm, % | 10–0.25 mm, % | Coefficient of structurality | < 1 mm, % |
| Strip-Till        | By the racks      | 83.5          | 2.5                          | 24.2      | 75.3          | 1.9                          | 25.3      |
|                   | Between the racks | 71.4          | 2.04                         | 30.4      | 65.1          | 1.5                          | 25.7      |
| Average           |                   | 77.4          | 2.4                          | 29.0      | 70.2          | 1.7                          | 25.5      |

Source: compiled by Y.A. Kuzychenko.

При этом меньшему средневзвешенному диаметру агрегатов при технологии Strip-Till, в сравнении со вспашкой на 1,3 мм в период весенней вегетации, соответствует бóльшая — на 0,02 г/см<sup>3</sup> — плотность почвы, а, следовательно, и капиллярная пористость на 4 % выше (табл. 2).

Таблица 2

**Агрофизические показатели при различных системах основной обработки почвы**

| Система обработки       | Место отбора   | Период обработки                       |                              |                           |  |                              |                           |
|-------------------------|----------------|--|------------------------------|---------------------------|--|------------------------------|---------------------------|
|                         |                | Весенний                               |                              |                           | Летне-осенний                          |                              |                           |
|                         |                | Средневзвешенный диаметр агрегатов, мм | Плотность, г/см <sup>3</sup> | Капиллярная пористость, % | Средневзвешенный диаметр агрегатов, мм | Плотность, г/см <sup>3</sup> | Капиллярная пористость, % |
| Классическая технология | —              | 6,6                                    | 1,11                         | 14,2                      | 5,3                                    | 1,17                         | 13,7                      |
| Strip-Till              | По стойкам     | 5,1                                    | 1,14                         | 20,6                      | 4,5                                    | 1,19                         | 18,9                      |
|                         | Между стойками | 5,5                                    | 1,12                         | 15,4                      | 4,8                                    | 1,18                         | 15,2                      |
| Среднее                 |                | 5,3                                    | 1,13                         | 18,0                      | 4,7                                    | 1,19                         | 17,0                      |

Источник: выполнено Ю.А. Кузыченко.

Table 2

**Agrophysical indicators for various basic tillage systems**

| Processing system  | Placeof sampling | Spring period                               |                            |                       | Summer and autumn period                    |                            |                       |
|--------------------|------------------|---|----------------------------|-----------------------|---|----------------------------|-----------------------|
|                    |                  | Weighted average diameter of aggregates, mm | Density, g/cm <sup>3</sup> | Capillary porosity, % | Weighted average diameter of aggregates, mm | Density, g/cm <sup>3</sup> | Capillary porosity, % |
| Classic technology | —                | 6.6   | 1.11                       | 14.2                  | 5.3   | 1.17                       | 13.7                  |

Ending table 2

| Processing system | Place of sampling | Spring period                               |                            |                       | Summer and autumn period                    |                            |                       |
|-------------------|-------------------|---|----------------------------|-----------------------|---|----------------------------|-----------------------|
|                   |                   | Weighted average diameter of aggregates, mm | Density, g/cm <sup>3</sup> | Capillary porosity, % | Weighted average diameter of aggregates, mm | Density, g/cm <sup>3</sup> | Capillary porosity, % |
| Strip-Till        | By the racks      | 5.1   | 1.14                       | 20.6                  | 4.5   | 1.19                       | 18.9                  |
|                   | Between the racks | 5.5   | 1.12                       | 15.4                  | 4.8   | 1.18                       | 15.2                  |
| Average           |                   | 5.3   | 1.13                       | 18.0                  | 4.7   | 1.19                       | 17.0                  |

Source: compiled by Y.A. Kuzychenko.

Средняя водопроницаемость по Strip-Till составила 5,9 мм/мин, а по рекомендованной технологии — 4,1 мм/мин, разница 1,8 мм/мин, или 30 %. Более интенсивное впитывание воды по стойке культиватора Bli-Jet связано с формированием объемных водопоглощающих щелей (рис. 1).

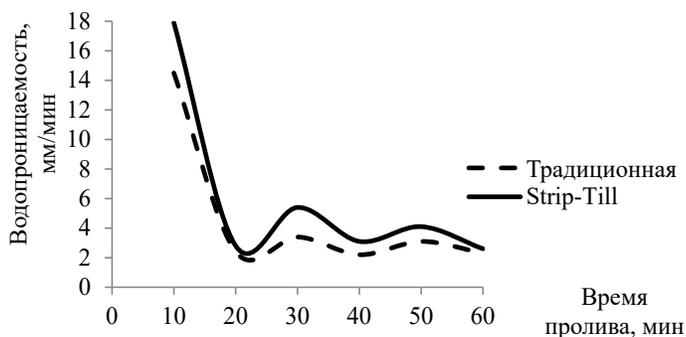


Рис. 1. Водопроницаемость в осенний период после отвальной обработки и щелереза Bli-Jet, мм/мин

Источник: выполнено Ю.А. Кузыченко.

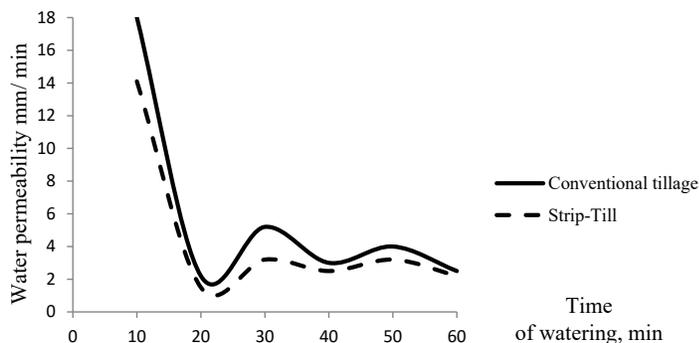


Fig. 1. Water permeability in the autumn period after moldboard treatment and “Bli-Jet” slitting, mm/min

Source: compiled by Y.A. Kuzychenko.

Лучшая водопроницаемость по стойке культиватора при технологии Strip-Till в период весенней вегетации (20,6 %) формирует и бóльший — на 6 мм — запас продуктивной влаги в сравнении с традиционной обработкой почвы (рис. 2).

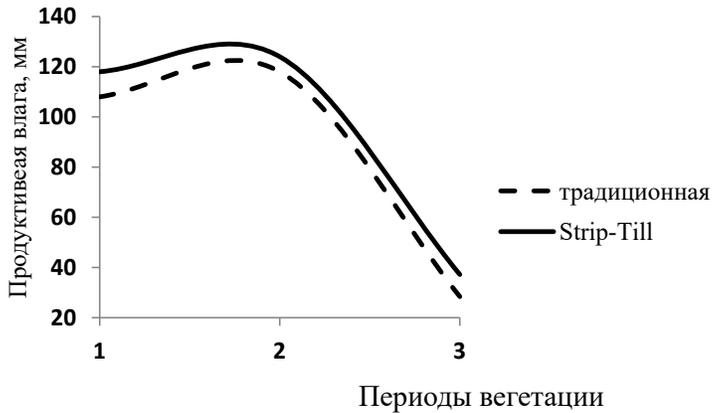


Рис. 2. Продуктивный запас влаги по периодам вегетации сои: 1 — осенний период; 2 — весенний период; 3 — летне-осенний период

Источник: выполнено Ю.А. Кузыченко.

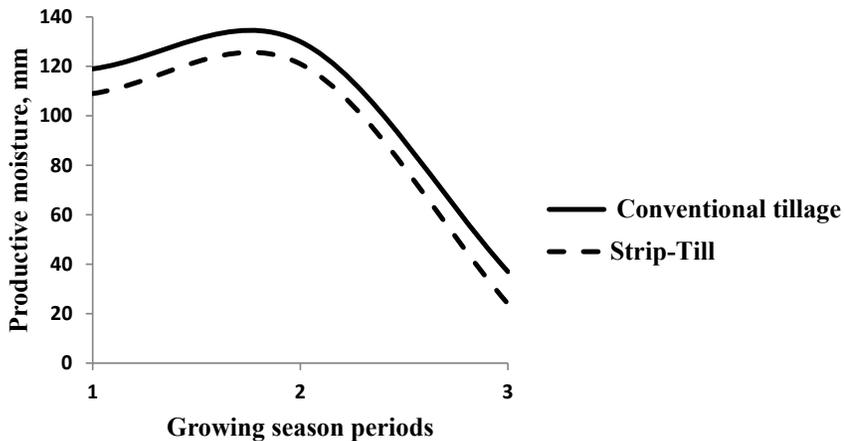


Fig. 2. Productive moisture reserve during the soybean growing season: 1 — autumn period; 2 — spring period; 3 — summer-autumn period

Source: compiled by Y.A. Kuzychenko.

Для оценки интенсивности развития корневых систем растений применялся метод фрактальной геометрии, предполагающий расчет показателя фрактальной размерности  $D = \ln Kb / \ln K_1$ , учитывающего количество и длину отдельных ответвлений корня (рис. 3).



**Рис. 3.** Корневые системы растений сои: № 1 – традиционная; № 2 – Strip-Till  
 Источник: выполнено Ю.А. Кузыченко.

**Fig. 3.** Root systems of soybean plants: No. 1 – Conventional tillage; No. 2 – Strip-Till  
 Source: compiled by Y.A. Kuzychenko.

Показатель фрактальной размерности  $D$ , оценивающий интенсивность объемного разветвления корневых систем растений сои, связан с запасами продуктивной влаги в период вегетации культуры. Установлено большее значение показателя  $D = 0,93$  при технологии Strip-Till в сравнении с традиционной технологией, где  $D = 0,77$  (табл. 3).

Таблица 3

**Морфометрия корневых систем сои**

| Технологии   | Порядок корней | $N_i$ , шт. | $L_i$ , мм | $k_b = N_i / N_{i+1}$ | $k_l = L_{i+1} / L_i$ | $K_b$ | $K_l$ | $D_r$ |
|--------------|----------------|-------------|------------|-----------------------|-----------------------|-------|-------|-------|
| Strip-Till   | 2              | 6           | 5          | 0,43                  | 13,6                  | 7,2   | 8,2   | 0,93  |
|              | 3              | 14          | 68         | 14                    | 2,8                   | –     | –     | –     |
|              | 4              | 1           | 190        | –                     | –                     | –     | –     | –     |
| Традиционная | 2              | 1           | 5          | 0,5                   | 15,6                  | 5,5   | 9,5   | 0,77  |
|              | 3              | 10          | 78         | 10                    | 3,5                   | –     | –     | –     |
|              | 4              | 1           | 275        | –                     | –                     | –     | –     | –     |

Источник: выполнено Ю.А. Кузыченко.

Table 3

## Morphometry of soybean root systems

| Technologies        | Orderof roots | $N_i$ , pcs | $L_i$ , mm | $k_b = N_i/N_{i+1}$ | $k_l = L_{i+1} / L_i$ | $K_b$ | $K_l$ | $D_r$ |
|---------------------|---------------|-------------|------------|---------------------|-----------------------|-------|-------|-------|
| Strip-Till          | 2             | 6           | 5          | 0.43                | 13.6                  | 7.2   | 8.2   | 0.93  |
|                     | 3             | 14          | 68         | 14                  | 2.8                   | –     | –     | –     |
|                     | 4             | 1           | 190        | –                   | –                     | –     | –     | –     |
| Conventionaltillage | 2             | 1           | 5          | 0.5                 | 15.6                  | 5.5   | 9.5   | 0.77  |
|                     | 3             | 10          | 78         | 10                  | 3.5                   | –     | –     | –     |
|                     | 4             | 1           | 275        | –                   | –                     | –     | –     | –     |

Source: compiled by Y.A. Kuzychenko.

Установлено существенное увеличение урожайности сои при технологии Strip-Till, средняя разница по годам исследований в сравнении с традиционной технологией составила 0,13 т/га, при рентабельности 163 % (табл. 4).

Таблица 4

## Урожайность, т/га, в 2019–2021 гг. и экономические показатели возделывания сои по различным технологиям

| Технология        | Урожайность, т/га |      |      |         | Затраты, р./га | Рентабельность, % |
|-------------------|-------------------|------|------|---------|----------------|-------------------|
|                   | 2019              | 2020 | 2021 | Среднее |                |                   |
| Традиционная      | 1,16              | 1,14 | 1,27 | 1,19    | 28656          | 128               |
| Strip-Till        | 1,30              | 1,18 | 1,38 | 1,32    | 27600          | 163               |
| НСР <sub>05</sub> | 0,13              | 0,03 | 0,10 | 0,08    |                |                   |

Источник: выполнено Ю.А. Кузыченко.

Table 4

## Yield, t/ha, and economic indicators of soybean cultivation using various technologies

| Technologies        | Yield, t/ha |      |      |         | Costs, rub/ha | Profitability, % |
|---------------------|-------------|------|------|---------|---------------|------------------|
|                     | 2019        | 2020 | 2021 | Average |               |                  |
| Conventionaltillage | 1.16        | 1.14 | 1.27 | 1.19    | 28656         | 128              |
| Strip-Till          | 1.30        | 1.18 | 1.38 | 1.32    | 27600         | 163              |
| LSD <sub>05</sub>   | 0.13        | 0.03 | 0.10 | 0.08    |               |                  |

Source: compiled by Y.A. Kuzychenko.

## Заключение

Большой запас продуктивной влаги (126 мм) в весенний период и более интенсивное развитие корневой системы (фрактальный индекс 0,99) при технологии Strip-Till позволили получить существенно большую урожайность сои (1,32 т/га) в сравнении с традиционной технологией, при меньших затратах (на 4 %) и более высокой рентабельности, составившей 163 %.

## Список литературы

1. Юркова Р.Е., Докучаева Л.М. Современное состояние производства сои в России // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2019. № 2 (74). С. 8–13. EDN: GDQKTP
2. Ибрагимова В.И. Экономическая эффективность выращивания сои в современных условиях // Молодой ученый. 2017. № 1 (135). С. 176–178. EDN: UZPEJX
3. Балакай Г.Т. Водосберегающий режим орошения сои на юге России // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2018. № 4 (72). С. 80–84. EDN: YPERBR
4. Дагаргулия Р.Г. Значение сои и способы повышения эффективности ее возделывания // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2018. № 9. С. 40–45. EDN: XYUVTF
5. Трусов А.С. Технологии No-Till и Strip-Till — основные преимущества (опыт ООО «Зерно Белогорья») // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 12. С. 20. EDN: PVVMEV
6. Беляев В.И., Майнель Т., Тиссен Р. Технология Strip-Till: особенности конструкций машин ведущих мировых производителей и их применения (статья) // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 11 (109). С. 86–91. EDN: RLTLIN
7. Беляев В.И., Майнель Т., Тиссен Р., Рудев Н.В., Кожанов Н.А., Соколова Л.В. Сравнительная оценка водного режима почвы и урожайности подсолнечника при различных технологиях осенней обработки почвы в условиях Кулундинской степи Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 5 (151). С. 27–34. EDN: YPLLRB
8. Тиссен Р., Беляев В.И., Кузнецов В.Н., Соколова Л.В. Оценка эффективности затрат при реализации полосовой технологии осенней обработки почвы в условиях засушливой степи Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 9 (155). С. 18–23. EDN: ZGBVHJ
9. Беляев В.И., Майнель Т., Тиссен Р., Рудев Н.В., Кожанов Н.А., Соколова Л.В. Влияние глубины осенней обработки почвы и дозы внесения минеральных удобрений на водный режим почвы и урожайность подсолнечника при возделывании по технологии «Strip-Till» в условиях засушливой степи Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 6 (152). С. 27–34. EDN: YQFMFH
10. Кузыченко Ю.А., Гаджумаров Р.Г., Джандаров А.Н. Модернизация технологии Strip-till при возделывании кукурузы на зерно в условиях Предкавказья // Аграрная наука. 2022. № 6. С. 62–65. doi: 10.32634/0869-8155-2022-360-6-62-65 EDN: JYNHRD
11. Беляев В.И., Тиссен Р.У. Обоснование рациональных составов почвообрабатывающего агрегата для полосовой обработки почвы в степной зоне Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 1 (159). С. 51–55. EDN: YNH CYD
12. Бойков В.М., Старцев С.В., Воротников И.Л., Нарушев В.Б. Классификация машин для полосовой технологии обработки почвы // Аграрный научный журнал. 2020. № 5. С. 72–76. doi: 10.28983/asi.y2020i5pp72–76 EDN: WIKINC
13. Бойков В.М., Воротников И.Л., Нарушев В.Б., Старцев С.В. Обоснование целесообразности использования полосовой (Strip-Till) обработки почвы в условиях степного Поволжья // Аграрный научный журнал. 2019. № 10. С. 99–104. doi: 10.28983/asj.y2019i10pp99–104 EDN: VRJGPL
14. Скорляков В.И., Сердюк В.В., Негреба О.Н. Показатели качества измельчения и разбрасывания соломы зерноуборочными комбайнами ведущих фирм // Техника и оборудование для села. 2013. № 3. С. 30–33. EDN: PWVYMP
15. Бойков В.М., Старцев С.В., Воротников И.Л., Нарушев В.Б. Исследование формообразующих параметров корневой системы пропашных культур // Аграрный научный журнал. 2020. № 9. С. 65–68. doi: 10.28983/asj.y2020i9pp65–68 EDN: AHFATP

## References

1. Yurkova RE, Dokuchaeva LM. The current state of soybean production in Russia. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2019;(2):8–13. (In Russ). EDN: GDQKTP
2. Ibragimova VI. Economic efficiency of soybean cultivation in modern conditions. *Young Scientist*. 2017;(1):176–178. (In Russ). EDN: UZPEJX
3. Balakai GT. Water-saving soybean irrigation regime in the south of Russia. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2018;(4):80–84. (In Russ). EDN: YPERBR
4. Dagargulia RG. The value of soybeans and ways to improve its cultivation. *Economy of Agricultural and Processing Enterprises*. 2018;(9):40–45. (In Russ). EDN: XYUVTF
5. Trusov AS. No-till and Strip-Till technologies — the main advantages (experience of LLC Grain of Belogorye). *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2012;12:20. (In Russ). EDN: PVVMEV
6. Belyaev VI, Meinel T, Tiessen R. Strip-Till technology: design and application features of the equipment of leading global manufacturers. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2013;(11):86–91. (In Russ). EDN: RLTLIN
7. Belyaev VI, Meinel T, Tiessen R, Rudev NV, Kozhanov NA, Sokolova LV. Comparative evaluation of soil water regime and sunflower yield under various autumn tillage technologies in the Kulunda steppe of the Altai Region. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2017;(5):27–34. (In Russ). EDN: YPLLRB
8. Tiessen R, Belyaev VI, Kuznetsov VN, Sokolova LV. Cost-effectiveness evaluation of the implementation of Strip-Till technology of autumn tillage under the conditions of dry steppe of the Altai Region. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2017;(9):18–23. (In Russ). EDN: ZGBVHJ
9. Belyaev VI, Meinel T, Tiessen R, Rudev NV, Kozhanov NA, Sokolova LV. Effects of autumn tillage depth and application rates of mineral fertilizers on water soil regime and sunflower yield under Strip-Till technology in the arid steppe of the Altai Region. *Bulletin of Altai state Agricultural University*. 2017;(6):27–32. (In Russ). EDN: YQFMFH
10. Kuzichenko YA, Gadzhumarov RG, Dzhandarov AN. Modernization of Strip-Till technology in the cultivation of corn for grains in Ciscaucasia. *Agrarian Science*. 2022;(6):62–65. (In Russ). doi: 10.32634/0869-8155-2022-360-6-62-65 EDN: JYNHRD
11. Belyaev VI, Tiessen RU. Substantiation of rational structures of tillage units for strip tillage in the steppe zone of the Altai Region. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2018;(1):51–55. (In Russ). EDN: YNH CYD
12. Boykov VM, Startsev SV, Vorotnikov IL, Narushev VB. Classification of machines for strip technology of soil treatment. *Agrarian Scientific Journal*. 2020;(5):72–76. (In Russ). doi: 10.28983/asi.y2020i5pp72-76 EDN: WIKIHC
13. Boykov VM, Vorotnikov IL, Narushev VB, Startsev SV. Substantiation of expediency of use of Strip-Till soil treatment in steppe Volga Region. *Agrarian Scientific Journal*. 2019;(10):99–104. (In Russ). doi: 10.28983/asj.y2019i10pp99-104. EDN: VRJGPL
14. Skorlyakov VI, Serdyuk VV, Negreba ON. Quality ratings of straw chopping and spreading with combine harvesters of the leading firms. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2013;(3):30–33. (In Russ). EDN: PWVYMP
15. Boykov VM, Startsev SV, Vorotnikov IL, Narushev VB. Study of the formative parameters of the root system of tiller crops. *Agrarian Scientific Journal*. 2020;(9):65–68. (In Russ). doi: 10.28983/asj.y2020i9pp65-68 EDN: AHFATP

### Об авторе:

Кузыченко Юрий Алексеевич — доктор сельскохозяйственных наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории технологии возделывания сельскохозяйственных культур, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Российская Федерация, 356241, Ставропольский край, Шпаковский район, г. Михайловск, ул. Никонова, д. 49; e-mail: smc.yuka@yandex.ru  
ORCID: 0000-0002-6394-2447 SPIN-код: 1815-0941

### About author:

Kuzychenko Yuri Alekseevich — Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Chief Researcher, Laboratory of Technology of Cultivation of Crops, North Caucasian Federal Scientific Agrarian Center, 49 Nikonova st., Mikhailovsk, Shpakovsky district, Stavropol Territory, 356241, Russian Federation; e-mail: smc.yuka@yandex.ru  
ORCID: 0000-0002-6394-2447 SPIN-code: 1815-0941



## Генетика и селекция растений Genetics and plant breeding

DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-577-588

EDN CABXNN

УДК 633.11./631.527

Научная статья / Research article

### Идентификация генов устойчивости к листовой и стеблевой ржавчине у селекционных линий яровой мягкой пшеницы из вторичного генофонда коллекции «Арсенал»

В.А. Петин<sup>1</sup>  , С.Б. Лепехов<sup>1</sup> , И.Ф. Лапочкина<sup>2</sup> , Н.Р. Гайнуллин<sup>2</sup> <sup>1</sup>Федеральный Алтайский научный центр агrobiотехнологий, г. Барнаул, Российская Федерация<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», г. Москва, Российская Федерация  
 999.source.z@mail.ru

**Аннотация.** Листовая (*Puccinia triticina* Eriks.) и стеблевая (*Puccinia graminis* f. sp. tritici) ржавчины являются основными причинами снижения урожайности пшеницы в России и за рубежом. Эпифитотии этих болезней приводят к значительным экономическим потерям. Наблюдается усиление давления со стороны новых, более агрессивных рас патогенов. Стратегия селекции, направленная на защиту сортов пшеницы от этих болезней, является крайне актуальной и приоритетной. Цель исследования — идентификация эффективных и частично эффективных генов устойчивости к листовой (*Lr19*, *Lr24*, *Lr26*, *Lr29*, *Lr34*, *Lr37*) и стеблевой (*Sr17*, *Sr22*, *Sr36*, *Sr39*, *Sr47*) ржавчине в Приобской лесостепи Алтайского края для дальнейшей разработки комплекса селекционных мероприятий, направленных на создание новых сортов яровой пшеницы с устойчивостью к ржавчинным болезням в местных условиях с использованием современных методов молекулярно-маркерной селекции. Материалом для исследования служили 25 перспективных линий яровой мягкой пшеницы из вторичного генофонда коллекции «Арсенал» (ФИЦ «Немчиновка») с групповой устойчивостью к листостеблевым болезням, имеющие в родословной генетический материал видов *Aegilops speltoides*, *Ae. triuncialis*, *Triticum kiharae*, *Secale*

© Петин В.А., Лепехов С.Б., Лапочкина И.Ф., Гайнуллин Н.Р., 2025

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

*cereale* и *T. migushovae*. Молекулярный анализ позволил определить эффективные гены *Lr* у 80 %, а гены *Sr* — у всех протестированных образцов. Наибольшее число идентифицированных генов (5–6) выявлено у линий: 5–16i, 20–16i, 34–16i, 44–16i, 45–16i, 48–16i, 53–16i, а наименьшее (2–3) — 1–16i, 14–16i, 19–16i, 21–16i, 25–16i, 40–16i, 49–16i, 61–16i, 135/10i. У образцов 1–16i, 28–16i, 49–16i, 61–16i искомым генов *Lr* не обнаружено. Результаты исследований показали наличие широкого спектра генов устойчивости к листовой и стеблевой ржавчине, что указывает на донорские свойства линий коллекции «Арсенал» и возможность их эффективного использования в маркер-ассоциированной селекции при создании сортов пшеницы, устойчивых к ржавчинным болезням.

**Ключевые слова:** ДНК-маркёры, болезни растений, сельскохозяйственная генетика, грибные патогены, *Lr*-гены, *Sr*-гены, маркер-ассоциированная селекция

**Вклад авторов:** Петин В.А. — проведение опытов, написание текста рукописи; Лепехов С.Б. — разработка концепции, проверка и редактирование текста рукописи; Лапочкина И.Ф., Гайнуллин Н.Р. — обсуждение и утверждение окончательного варианта рукописи.

**Финансирование.** Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Министерства образования и науки Российской Федерации «Развитие селекционно-семеноводческого центра в сфере зерновых и зернобобовых культур — структурного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения „Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий“» Соглашение № 075-15-2025-186 от 18 апреля 2025 г.

**Заявления о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**История статьи:** поступила в редакцию 19 июня 2025 г., принята к публикации 15 октября 2025 г.

**Для цитирования:** Петин В.А., Лепехов С.Б., Лапочкина И.Ф., Гайнуллин Н.Р. Идентификация генов устойчивости к листовой и стеблевой ржавчине у селекционных линий яровой мягкой пшеницы из вторичного генофонда коллекции «Арсенал» // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2025. Т. 20. № 4. 577–588. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-577–588 EDN: CABXNN

## Identification of genes for resistance to leaf and stem rust in breeding lines of spring common wheat from the secondary gene pool of Arsenal collection

Vadim A. Petin<sup>1</sup>  , Sergey B. Lepekhov<sup>1</sup> ,  
Inna F. Lapochkina<sup>2</sup> , Nail R. Gainullin<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Altai Research Institute of Agriculture, Barnaul, Russian Federation

<sup>2</sup>Nemchinovka Research Center, Moscow, Russian Federation

 999.source.z@mail.ru

**Abstract.** Leaf rust (*Puccinia triticina* Eriks.) and stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) are the main causes of declining wheat yields in Russia and abroad. Epidemics of these diseases lead to significant economic losses. In recent years, there has been increased pressure from new, more aggressive races of pathogens. As a result, a breeding strategy aimed at protecting wheat varieties from these diseases is extremely relevant and

a priority. The aim of this work was to identify effective and partially effective genes of resistance to leaf (*Lr19*, *Lr24*, *Lr26*, *Lr29*, *Lr34*, *Lr37*) and stem (*Sr17*, *Sr22*, *Sr36*, *Sr39*, *Sr47*) rust in the Ob forest-steppe of the Altai Territory for the further development of a set of breeding measures aimed at creating new varieties of spring wheat with resistance to rust diseases in local conditions using modern methods of molecular marker selection. The material for the study was 25 promising lines of spring common wheat of secondary origin from Arsenal collection (Nemchinovka Research Center) with group resistance to leaf-stem diseases and having genetic material of the species *Aegilops speltoides*, *Ae. triuncialis*, *Triticum kiharae*, *Secale cereale* and *T. migushovae* in the pedigree. Molecular analysis made it possible to determine effective *Lr* genes in 80 %, and *Sr* genes in all tested accessions. The largest number of identified genes (5–6) were found in the following lines: 5–16i, 20–16i, 34–16i, 44–16i, 45–16i, 48–16i, 53–16i, and the smallest (2–3) in: 1–16i, 14–16i, 19–16i, 21–16i, 25–16i, 40–16i, 49–16i, 61–16i and 135/10i. The desired *Lr* genes were not found in accessions 1–16i, 28–16i, 49–16i, 61–16i. The results of the studies showed the presence of a wide range of genes of resistance to leaf and stem rust, which indicates the donor properties of the lines of Arsenal collection and the possibility of their effective use in marker associated selection in the development of wheat varieties resistant to rust diseases.

**Keywords:** DNA-markers, plant diseases, agricultural genetics, fungal pathogens, *Lr*-genes, *Sr*-genes, marker-assisted selection

**Authors' contribution:** Petin V.A. — conducting experiments, scientific writing; Lepikhov S.B. — concept development, verification and editing of the manuscript; Lapochkina I.F., Gainullin N.R. — discussion and approval of the final version of the manuscript.

**Funding.** The research was supported by the Russian Ministry of Education and Science's project "Development of a Breeding and Seed Center for Grain and Legume Crops — a division of Altai Research Institute of Agriculture". (Agreement No. 075-15-2025-186 dated April 18, 2025)

**Conflict of interests.** The authors declared no conflict of interests.

**Article history:** received 19 June 2025; accepted 15 October 2025.

**For citation:** Petin VA, Lepikhov SB, Lapochkina IF, Gainullin NR. Identification of genes for resistance to leaf and stem rust in breeding lines of spring common wheat from the secondary gene pool of Arsenal collection. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(4):577–588. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-577-588 EDN: CABXNN

## Введение

Листовая или бурая ржавчина (*Puccinia triticina* Eriks.) и стеблевая или черная ржавчина (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) — это регулярно встречающиеся и опасные заболевания пшеницы как в России, так и за рубежом. В рамках программ по улучшению качества пшеницы по всей стране проводят испытания передовых селекционных линий и сортов пшеницы на устойчивость к распространенным видам ржавчины.

Для замедления эволюции патогенов, поражающих зерновые культуры, и предотвращения появления новых, более опасных рас, необходимо использовать стратегии, направленные на повышение генетической устойчивости агроценоза. К ним относятся частая смена сортов и выращивание сортов с разным уровнем устойчивости к болезням на одной территории (стратегия мозаичного размещения

сортов). В передовых странах сорта создают за 3–4 года, тогда как в России этот срок значительно больше — 7...10 лет и более [1]. Селекция, направленная на создание сортов яровой пшеницы, имеющих разнообразную генетическую основу по устойчивости к листовым и стеблевым болезням, весьма актуальна.

Известно более 80 генов устойчивости к листовой и стеблевой ржавчине с установленной локализацией на хромосомах пшеницы [2]. Западно-Сибирские популяции бурой и стеблевой ржавчины отличаются особой вирулентностью и могут преодолевать гены устойчивости растения, которые в других регионах являются эффективными. Установлены высокоэффективные к *Puccinia triticina* гены ювенильной устойчивости (*Lr24, Lr28, Lr41, Lr45, Lr47, LrAg, LrAeg.speltoides*) и возрастной устойчивости (*Lr35, Lr48, Lr49*) [3]. В условиях южной лесостепи Западной Сибири иммунитет к стеблевой ржавчине проявили линии яровой пшеницы с генами: *Sr9e, Sr24, Sr25, Sr26, Sr27, Sr31, Sr33, Sr35, Sr36, Sr38, SRDP-2* с пирамидой генов *Sr7a+Sr12+Sr* [4]. По результатам собственных оценок коллекции почти изогенных линий с генами *Lr* и *Sr* в 2022 г. высокую эффективность проявили гены *Lr9, Lr19, Lr24, Lr25, Lr26, Lr28, Lr29, Lr35, Lr37, Lr44, Lr45, Lr47* и *Sr24, Sr31, Sr36*.

**Цель исследования** состояла в идентификации некоторых известных эффективных и частично эффективных генов устойчивости к бурой (*Lr19, Lr24, Lr26, Lr29, Lr34, Lr37*) и стеблевой (*Sr17, Sr22, Sr36, Sr39, Sr47*) ржавчине у линий яровой мягкой пшеницы вторичного генофонда коллекции «Арсенал» современными методами диагностики. Полученные результаты послужат основой при разработке комплекса мероприятий, направленных на создание новых сортов яровой пшеницы с устойчивостью к листовой и стеблевой ржавчине в условиях Приобской лесостепи Алтайского края с использованием метода MAS.

## Материалы и методы исследования

Исследования проводились в 2024–2025 гг. на базе молекулярно-генетической лаборатории ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий». Для идентификации *Lr* и *Sr* генов были взяты 25 линий яровой мягкой пшеницы из вторичного генофонда коллекции «Арсенал», созданные в ФИЦ «Немчиновка» путем многоступенчатой гибридизации доноров устойчивости к расе Ug99 стеблевой ржавчины. Эти селекционные линии обладают групповой устойчивостью к европейской и западно-сибирской популяциям листовой и стеблевой ржавчины [5], которая была подтверждена полевыми исследованиями на опытном поле ФГБНУ «ФАНЦА» в 2021–2022 гг. Для оценки реакции и степени поражения видами ржавчины использовали шкалу СИММУТ [6].

ДНК пшеницы выделяли из 6–7-дневных этиолированных проростков по методу Плашке с соавт. [7]. Идентификацию генов проводили с помощью метода полимеразной цепной реакции (ПЦР) с праймерами, маркирующими *Lr*-гены: *Lr19, Lr24, Lr26, Lr29, Lr34, Lr37* и *Sr*-гены: *Sr17, Sr22, Sr36, Sr39, Sr47*. Подбор

праймеров осуществляли на основании литературных данных, их нуклеотидные последовательности показаны в табл. 1.

Таблица 1

### ПЦР-маркеры, использованные для идентификации *Lr* и *Sr*-генов

| Ген          | Маркеры              |   |                        | Литературный источник |
|--------------|----------------------|---|------------------------|-----------------------|
|              | Название             | Нуклеотидная последовательность (5'-3')               | Размер ампликона п. н. |                       |
| <i>Lr</i> 19 | SCS265-FSCS265-R     | GGCGGATAAGCAGAGCAGAGGGCGGATAAG<br>TGGGTTATGG          | 512                    | [8]                   |
| <i>Lr</i> 24 | SCS73-FSCS73-R       | TCGTCCAGATCAGAATGTGCTCGTCTGATTAG<br>CAGTGAG           | 719                    | [9]                   |
| <i>Lr</i> 26 | SCM9-FSCM9-R         | TGACAACCCCTTTCCCTCGTTCATCGACGC<br>TAAGGAGGACCC        | 207                    | [10]                  |
| <i>Lr</i> 29 | Lr29F24Lr29R24       | GTGACCTCAGGCAATGCACACAGTGTGACCT<br>CAGAACCAGATGTCCATC | 900                    | [11]                  |
| <i>Lr</i> 34 | csLV34-FcsLV34-R     | GTTGGTTAAGACTGGTGATGGTCTTGCTAT<br>TGCTGAATAGT         | 150                    | [12]                  |
| <i>Lr</i> 37 | VentriupLN2          | AGGGGCTACTGACCAAGGCTTGACGCTACAG<br>CAGTATGTACACAAAA   | 259                    | [13]                  |
| <i>Sr</i> 17 | WPT5343-FWPT5343-R   | TATTCTACAACGCTCCATCCCGCATGCAANC<br>CATACCTTT          | 407                    | [14]                  |
| <i>Sr</i> 22 | WMC633-FWMC633-R     | ACACCAGCGGGATATTTGTTACGTGCACAA<br>GACATGAGGTGGATT     | 117                    | [15]                  |
| <i>Sr</i> 36 | XSTM773-2FXSTM773-2R | ATGGTTTGTGTGTGTGTGTAGGAAACGCC<br>CCAACCACCTCTCTC      | 155                    | [16]                  |
| <i>Sr</i> 39 | SR39#22-FSR39#22-R   | AGAGAAGATAAGCAGTAAACATGTGCTGTCA<br>TGAGAGGAACTCTG     | 487                    | [17]                  |
|              | Sr39#50s-FSr39#50s-R | CCAATGAGGAGATCAAAACAACCCTAGCAAG<br>GACCAAGCAATCTTG    | 167                    |                       |
| <i>Sr</i> 47 | WGWM501-FWGWM501-R   | GGCTATCTCTGGCGCTAAAATCCACAAACAA<br>GTAGCGCC           | 109                    | [18]                  |

Источник: выполнено В.А. Петиним.

## Результаты и обсуждение

По результатам наших оценок селекционных линий вся коллекция обладала высокой устойчивостью к бурой и стеблевой ржавчинам в условиях Приобской лесостепи Алтайского края в 2021 и 2022 гг. в сравнении со стандартным сортом Алтайская 70, который поражался бурой ржавчиной на 60...70 %, а стеблевой на 40 % (табл. 2). Исходя из этого, сделано заключение о наличии у них эффективных генов устойчивости *Lr* и *Sr* или их сочетаний.

Таблица 2

**Результаты оценки устойчивости линий из коллекции «Арсенал» к листовой и стеблевой ржавчине, опытное поле ФГБНУ «ФАНЦА», 2021–2022 гг.**

| Сорт/линия                               | Родословная*                   | Оценка устойчивости к листовой ржавчине, %/тип |      | Оценка устойчивости к стеблевой ржавчине, %/тип |      |
|--|--------------------------------|--|------|---|------|
|  |                                | 2021   | 2022 | 2021  | 2022 |
| Алтайская-70<br>(восприимчивый контроль) | Алтайская-98/<br>Алтайская-325 | 70S  | 60S  | 40S   | 40S  |
| 1–16i                                    | (96/113)/145//113              | 10MR   | 5MR  | 5MR   | 5MR  |
| 5–16i                                    | (96/113)/145                   | 5MR  | R    | 5MR   | 5MR  |
| 6–16i                                    | (96/113)/145                   | R  | R    | 0   | 0    |
| 14–16i                                   | 96/113                         | R  | R    | R   | R    |
| 17–16i                                   | 96/113                         | R  | R    | 0   | 0    |
| 19–16i                                   | 96/113                         | 0  | 0    | R   | R    |
| 20–16i                                   | 96/113                         | R  | R    | R   | 0    |
| 21–16i                                   | 96/113                         | 0  | R    | 0   | R    |
| 25–16i                                   | 96/113                         | 0  | R    | R   | R    |
| 28–16i                                   | (113/96)/145//113              | R  | R    | R   | 0    |
| 30–16i                                   | (113/96)/113                   | R  | R    | 0   | 0    |
| 31–16i                                   | (113/96)/113                   | R  | R    | R   | R    |
| 34–16i                                   | (113/96)/113                   | 5MR  | 5MR  | 0   | 0    |
| 36–16i                                   | (113/96)/145                   | R  | R    | R   | R    |
| 37–16i                                   | (113/96)/145                   | R  | 5MR  | R   | 0    |
| 40–16i                                   | (113/96)/145                   | R  | R    | 5MR   | 5MR  |
| 44–16i                                   | (113/119)/113                  | 0  | 0    | 0   | 0    |
| 45–16i                                   | (113/119)/113                  | 0  | 0    | R   | 0    |
| 48–16i                                   | (113/119)/113                  | 0  | R    | 0   | 0    |
| 49–16i                                   | (113/119)/113                  | R  | 5MR  | 5MR   | 5MR  |
| 53–16i                                   | (113/119)/113                  | 5MR  | R    | 5MR   | 5MR  |
| 57–16i                                   | (113/119)/119                  | R  | R    | 0   | 0    |
| 60–16i                                   | (119/113)/113/113              | 0  | R    | 5MR   | 5MR  |
| 61–16i                                   | (119/96)/113                   | R  | R    | 0   | 0    |
| 135/10i                                  | 102/00i /Эстивум<br>440        | R  | R    | 0   | 0    |

Примечание. \*В создании линий участвовали следующие доноры устойчивости к бурой и стеблевой ржавчине: линия озимой пшеницы GT 96/90 (Болгария) с генетическим материалом *T. migushovae* (в табл. указана как линия 96); линия 113/00i-4 образец яровой пшеницы коллекции «Арсенал» с генетическим материалом видов *Ae. triuncialis* и *T. kiharae* (в табл. линия 113); линия яровой пшеницы 145/05i – результат скрещивания ярового сорта Лада с образцом коллекции «Арсенал» к-62903, который получен с участием вида *Ae. speltoides* (в табл. линия 145); линия озимой пшеницы 119/4–06гw – трехродовой пшенично-эгилопсно-ржаной гибрид, содержит чужеродный материал *Ae. speltoides* и *S. cereale* (в табл. линия 119); линия яровой пшеницы 135/10i – результат скрещивания образца коллекции «Арсенал» 102/00i (с генетическим материалом *Ae. speltoides*) с сортом яровой пшеницы Эстивум 440 [Чайка(оз)/Целинная 20/3/Юбилейная Осетии(оз)/Безостая 1/Саратовская 36].

Источник: выполнено В.А. Петиним.

В селекции пшеницы для повышения устойчивости к патогенам широко используется генетическое разнообразие диких и культурных сородичей, а также других злаковых культур. Транслокация 1RS/1BL, несущая гены *Lr26*, *Sr31*, *Yr9* и *Pm8*, обеспечивающие устойчивость к мучнистой росе и ржавчинным болезням, является одним из наиболее часто применяемых генетических элементов селекционных программ в мире [19]. И хотя существует негативное влияние локуса *Sec-1*, кодирующего  $\epsilon$ -secalin (секалина — запасные белки зерна ржи), на хлебопекарные качества пшеницы, транслокация 1RS/1BL в целом оказывает положительное воздействие на урожайность и адаптивность к условиям внешней среды [20].

Идентификацию гена *Lr26* проводили с использованием маркера SCM9, который позволяет дифференцировать генотипы, несущие 1BL.1RS и 1AL.1RS-транслокации. Ампликон размером 207 п. н. указывает на наличие 1BL.1RS-транслокации, а 228 п. н. — на 1AL.1RS-транслокацию [21]. В результате проведения ПЦР фрагмент амплификации размером только 207 п. н. выявлен у 16 линий: 5–16i, 53–16i, 6–16i, 14–16i, 17–16i, 19–16i, 20–16i, 21–16i, 25–16i, 30–16i, 31–16i, 36–16i, 37–16i, 44–16i, 45–16i, 48–16i. Мягкая пшеница получила транслокацию 1RS от сорта ржи *Petkus*, которая располагается в длинном плече хромосомы 1B. В этой транслокации также находятся гены устойчивости к мучнистой росе *Pm8*, стеблевой (*Sr31*) и желтой (*Yr9*) ржавчине [2]. Гены устойчивости к трем видам ржавчины являются независимыми, но тесно сцеплены друг с другом. Транслокация 1BL.1RS, помимо прочего, содержит гены, благоприятно влияющие на урожайность, качество зерна и устойчивость к засухе, которая достигается благодаря повышению массы корней [20].

Ген *Lr34* обеспечивает устойчивость растений пшеницы по типу медленного развития (*slow rusting*), который характеризуется удлиненным периодом формирования болезни после поражения, а также уменьшением количества пустул возбудителя на поверхности листа и их размеров. Использование этого гена в сочетании с другими генами устойчивости к бурой ржавчине (*Lr10*, *Lr13*, *Lr16* и др.) позволит получить менее восприимчивые к болезни образцы и сорта пшеницы [22].

Ген устойчивости к бурой ржавчине *Lr34* считается слабо эффективным в России [23], но представляет ценность в качестве источника сцепленных с ним в одном сегменте хромосомы других генов устойчивости к болезням, таких как желтая ржавчина (*Yr18*), мучнистая роса (*Pm46*) и стеблевая ржавчина (*Sr57*) [5].

Идентификацию гена *Lr34* осуществляли с кодоминантным STS-маркером *csLV34*, маркирующим ген в различных аллельных состояниях. На доминантный (функциональный) аллель указывает наличие в образцах фрагмента амплификации с молекулярным весом 150 п. н., на рецессивный (не функциональный) аллель — 229 п. н. Обнаружение обоих аллельных вариантов гена *Lr34* в образце может указывать на гетерозиготность по данному локусу, или это может быть следствием неоднородности исходного материала, обусловленной экстракцией ДНК из нескольких проростков с различным генотипом.

Почти все представленные линии обладали рецессивным аллелем гена *Lr34*. Доминантный аллель был выявлен только у линий 34–16i, 40–16i, и 135/10, а гетерозиготное аллельное состояние наблюдалось только у контрольного образца.

Ген *Lr37* передан в мягкую пшеницу с транслокацией 2NS-2AS от *Aegilops ventricosa* в составе кластера генов *Yr17/Lr37/Sr38* и локализован в коротком плече хромосомы 2A. До недавнего времени он принадлежал к группе высокоэффективных во многих странах. Однако широкое возделывание сортов с геном *Lr37* в Западной Европе привело к утрате его эффективности. В России эффективность гена *Lr37* варьирует по регионам от высокой до умеренной [24].

Идентификацию гена *Lr37* в коллекционных линиях проводили с праймерами *VENTRIUP* и *LN2*. Маркерный фрагмент размером 259 п.н. был выявлен у 11 генотипов: 5–16i, 34–16i, 53–16i, 60–16i, 17–16i, 30–16i, 31–16i, 44–16i, 45–16i, 48–16i, 57–16i.

Гены *Lr19*, *Lr24* и *Lr29* интрогрессированы в пшеницу от *Agropyrum elongatum*. Все они находятся в D геноме и тесно сцеплены с генами устойчивости к стеблевой ржавчине *Lr19/Sr25* и *Lr24/Sr24*. Данные гены считаются высокоэффективными и широко используются в селекции.

Для идентификации этих генов использовали SCAR-маркеры *SCS265* (*Lr19*), *SCS73* (*Lr24*) и *Lr29F24* (*Lr29*). Фрагменты амплификации по всем трем генам были обнаружены только у контрольных образцов, что говорит об отсутствии генетического материала *Agropyrum elongatum* в родословных исследуемых линий.

Ген *Sr17* (от *T. turgidum*), лежащий в хромосоме 7B и сцепленный с *Lr14a/Pm5*, хоть и неэффективен к *Ug99*, но может обеспечить устойчивость к местным популяциям отдельных регионов и в сочетаниях с другими генами, например с *Sr13* [25]. Ген *Sr17* был обнаружен с использованием DArT-маркера *wPt 5343* у 4 линий: 20–16i, 34–16i, 44–16i, 53–16i.

Ген *Sr22* был первоначально идентифицирован у *Triticum monosocum*, затем был перенесен на тетраплоидную и гексаплоидную пшеницу путем межвидовой гибридизации. Данный ген эффективен против всех рас стеблевой ржавчины, и есть линии с *Sr22*, которые не сцеплены с нежелательными агрономическими признаками [26].

Ранее *Sr22* был картирован на длинном плече хромосомы 7A. Три связанных маркера *CFA2019*, *CFA2123* и *BARC121* были использованы для гаплотипирования этого локуса [27]. Олсон и др. [15] создали новый набор линий с редуцированными чужеродными фрагментами и обнаружили, что ближайшими маркерами, примыкающими к *Sr22* в этих линиях, являются *WMC633* и *CFA2123*.

При использовании маркера *CFA2123* характерный продукт в 234 п.н. мы наблюдали у всех исследуемых образцов, в т.ч. и у отрицательного контроля. Поскольку этот маркер не является полностью диагностическим и может давать ложноположительный результат, использовали еще один SSR маркер *WMC633*. В результате мы обнаружили амплифицированные продукты, описанные не только как диагностические. У всех линий были фрагменты порядка 240 п.н., а 117 п.н. отсутствовали только у 21–16i, 40–16i, 34–16i, 17–16i. Как писали Олсон и др. [15],

это может быть связано с рекомбинацией между геном устойчивости и всеми маркерами, картированными в этом районе.

*Sr36* интрогрессирован в пшеницу от *T. timopheevii* и локализован в коротком плече хромосомы 2В. Этот ген широко используется в селекции и распространен во многих сортах в мире. *Sr36* эффективен к большинству рас стеблевой ржавчины, в т. ч. и к Ug99, кроме ее разновидностей ТТКСТ и ТТТСК [28]. Также его используют для создания пирамид в сочетаниях с другими генами *Sr* при селекции устойчивых сортов пшеницы.

Для определения этого гена использовали SSR кодоминантный маркер Xstm 773–2, который дал четкие, читаемые фрагменты длиной 155 п.н., свидетельствующие о наличии, и 190 п.н. — об отсутствии гена. У большинства образцов амплифицировался фрагмент в 155 п.н., а 190 п.н. обнаружен у 25–16i и 135/10i.

Ген устойчивости к стеблевой ржавчине *Sr39* обеспечивает устойчивость ко всем известным патотипам *Puccinia graminis f. sp. tritici*, включая Ug99(ТТКСК) и его варианты — ТТКСТ и ТТТСК, которые вирулентны против *Sr24* и *Sr36* — двух часто используемых генов устойчивости. Ген *Sr39* был перенесен в гексаплоидный сорт пшеницы Marquis в хромосому 2В из 2S хромосомы *Aegilops speltoides* [29]. Перемещенный сегмент также содержит ген устойчивости к листовой ржавчине *Lr35*. Для идентификации *Sr39* взяли маркеры *Sr39#22r* и *Sr39#50s*. По первому маркеру у всех образцов выявлен фрагмент в 820 п.н., что не соответствовало диагностическому фрагменту в 487 п.н. Аналогичная ситуация наблюдалась и по второму маркеру, при заявленном 167 п.н. фрагменте, у образцов амплифицировались продукты на 240 и 280 п.н. На данном этапе исследований можно предполагать отсутствие участка хромосомы с местом отжига этих праймеров. В дальнейшем, когда у нас появится контрольная линия с геном *Sr39*, повторный ПЦР анализ позволит уточнить это предположение.

Ген устойчивости к стеблевой ржавчине *Sr47* перенесен из *Aegilops speltoides* путем гомеологичной рекомбинации с использованием *ph1b*-мутанта в твердую пшеницу, в результате чего получена линия DAS15. Мы провели исследование на присутствие гена *Sr47*, но без наличия контроля, как и в случае с *Sr39*. Ярко выраженный продукт размером 109 п.н. отметили у большей части образцов, исключения составили 14–16i, 19–16i, 25–16i, 31–16i, 44–16i, у которых он отсутствовал. Исследователи отмечают, что при использовании Xgwm501 насыщенный фрагмент длиной 109 п.н. указывает на присутствие хроматина *Ae. speltoides*, в то время как отсутствие фрагмента или меньшая его выраженность может говорить о сегменте хромосомы пшеницы [30].

В результате молекулярного скрининга у исследованных линий яровой мягкой пшеницы обнаружены как единичные *Lr* и *Sr*-гены, так и их пирамида (табл. 3). Наибольшее число идентифицированных генов было обнаружено у линии 53–16i (*Lr26*, *Lr37*, *Sr17*, *Sr22*, *Sr36*, *Sr47*), а у линий 1–16i, 28–16i, 49–16i, 61–16i исследуемых *Lr*-генов не обнаружено. С учетом высокой устойчивости последних генотипов в условиях Алтайского края и южной лесостепи Западной Сибири велика

вероятность присутствия других эффективных генов устойчивости (например, *Lr35*, *Sr32*, *Sr39*, *Sr40*) или новых генов устойчивости, переданных от *Ae. speltoides*, *T. kiharae* или *T. migushovae*.

Таблица 3

**Идентификация Lr и Sr-генов у линий яровой мягкой пшеницы из коллекции «Арсенал»**

| Сорт/линия   | Lr-гены     |             |             | Sr-гены     |             |             |             |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|              | <i>Lr26</i> | <i>Lr34</i> | <i>Lr37</i> | <i>Sr17</i> | <i>Sr22</i> | <i>Sr36</i> | <i>Sr47</i> |
| Алтайская-70 | -           | -           | -           | -           | -           | -           | -           |
| 1–16i        | -           | -           | -           | -           | +           | +           | +           |
| 5–16i        | +           | -           | +           | -           | +           | +           | +           |
| 6–16i        | +           | -           | -           | -           | +           | +           | +           |
| 14–16i       | +           | -           | -           | -           | +           | +           | -           |
| 17–16i       | +           | -           | +           | -           | -           | +           | +           |
| 19–16i       | +           | -           | -           | -           | +           | +           | -           |
| 20–16i       | +           | -           | -           | +           | +           | +           | +           |
| 21–16i       | +           | -           | -           | -           | -           | +           | +           |
| 25–16i       | +           | -           | -           | -           | +           | -           | -           |
| 28–16i       | -           | -           | -           | -           | +           | +           | +           |
| 30–16i       | +           | -           | +           | -           | +           | +           | +           |
| 31–16i       | +           | -           | +           | -           | +           | +           | -           |
| 34–16i       | -           | +           | +           | +           | -           | +           | +           |
| 36–16i       | +           | -           | -           | -           | +           | +           | +           |
| 37–16i       | +           | -           | -           | -           | +           | +           | +           |
| 40–16i       | -           | +           | -           | -           | -           | +           | +           |
| 44–16i       | +           | -           | +           | +           | +           | +           | -           |
| 45–16i       | +           | -           | +           | -           | +           | +           | +           |
| 48–16i       | +           | -           | +           | -           | +           | +           | +           |
| 49–16i       | -           | -           | -           | -           | +           | +           | +           |
| 53–16i       | +           | -           | +           | +           | +           | +           | +           |
| 57–16i       | -           | -           | +           | -           | +           | +           | +           |
| 60–16i       | -           | -           | +           | -           | +           | +           | +           |
| 61–16i       | -           | -           | -           | -           | +           | +           | +           |
| 135/10i      | -           | +           | -           | -           | +           | -           | +           |

Источник: выполнено В.А. Петиным.

### Заключение

Выявлено наличие широкого спектра генов устойчивости к листовой и стеблевой ржавчине у линий пшеницы из коллекции «Арсенал», что указывает на донорские свойства линий и возможность их эффективного использования в MAS

для преодоления генетической однотипности местных сортов по устойчивости к ржавчинным болезням и решения проблемы фитосанитарной обстановки в крае.

### Список литературы

1. Санин С.С. Проблемы фитосанитарии зернопроизводства // Защита зерновых культур от болезней, вредителей, сорняков: достижения и проблемы : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (05–09 декабря 2016 г., Большие Вяземы) / ВНИИФ. Большие Вяземы, 2016. С. 4–15. EDN: YQWIIH
2. McIntosh RA, Yamazaki Y, Devos KM, Dubcovsky J, Rogers JW, Appels R. Catalogue of Gene Symbols for Wheat. In: *Proceedings of the 12th international wheat genetics symposium*. Tokyo : Yokohama. 2013.
3. Сочалова Л.П., Лихенко И.Е. Оценка устойчивости к бурой ржавчине изогенных по генам Lr линий и сортов пшеницы в условиях Новосибирской области // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 3. С. 46–50. EDN: VUZZSF
4. Шаманин В.П., Моргунов А.И., Петуховский С.Л., Лихенко И.Е., Левшунов М.А., Салина Е.А. и др. Селекция яровой мягкой пшеницы на устойчивость к стеблевой ржавчине в Западной Сибири. Омск : ОмГАУ им. П.А. Столыпина, 2015. 152 с.
5. Лапочкина И.Ф., Баранова О.А., Шаманин В.П., Волкова Г.В., Гайнуллин Н.Р., Анисимова А.В. и др. Создание исходного материала яровой мягкой пшеницы для селекции на устойчивость к стеблевой ржавчине (*Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici*), в том числе и к расе Ug99 в России // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016. Т. 20. № 3. С. 320–328. doi: 10.18699/VJ16.167 EDN: WLKVEV
6. Койшыбаев М., Муминджанов Х. Методические указания по мониторингу болезней, вредителей и сорных растений на посевах зерновых культур. Анкара : ФАО-СЕК, 2014. 61 с.
7. Plaschke J, Ganai MW, Roder MS. Detection of genetic diversity in closely related bread wheat using microsatellite markers. *Theoretical and applied genetics*. 1995;91:1001–1007. doi: 10.1007/BF00223912 EDN: OODEIJ
8. Gupta SK, Charpe A, Prabhu KW, Haque OMR. Identification and validation of molecular markers linked to the leaf rust resistance gene Lr19 in wheat. *Theoretical and applied genetics*. 2006;113(6):1027–1036. doi: 10.1007/s00122-006-0362-7 EDN: LNNCFZ
9. Prabhu KV, Gupta SK, Charpe A, Koul S. SCAR marker tagged to the alien leaf rust resistance gene *Lr19* uniquely marking the *Agropyron elongatum*-derived gene *Lr24* in wheat: a revision. *Plant Breeding*. 2004;123(5):417–420.
10. Saal B, Wricke G. Development of simple sequence repeat markers in rye (*Secale cereale* L.). *Genome*. 1999;42(5):964–972. doi: 10.1139/g99-052 EDN: XOGPAB
11. Procunier JD, Townley-Smith TF, Fox S, Prashar S, Gray M, Kim WK, et al. PCR-based RAPD/DGGE markers linked to leaf rust resistance genes Lr29 and Lr25 in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Genetics and Breeding*. 1995;49:87–92.
12. Lagudah ES, McFadden H, Singh RP, Huerta-Espino J, Bariana HS, Spielmeier W. Molecular genetic characterization of the Lr34/Yr18 slow rusting resistance gene region in wheat. *Theoretical and applied genetics*. 2006;114:21–30. doi: 10.1007/s00122-006-0406-z EDN: KHWMZS
13. Helguera M, Khan IA, Kolmer J, Lijavetzky D, Zhong-Qi L, Dubcovsky J. PCR assays for the Lr37-Yr17-Sr38 cluster of rust resistance genes and their use to develop isogenic hard red spring wheat lines. *Crop Science*. 2003;43(5):1839–1847.
14. Crossa J, Burgueño J, Dreisigacker S, Vargas M, Herrera-Foessel SA, Lillemo M, et al. Association analysis of historical bread wheat germplasm using additive genetic covariance of relatives and population structure. *Genetics*. 2007;177(3):1889–1913. doi: 10.1534/genetics.107.078659 EDN: YBMSNL
15. Olson EL, Brown-Guedira G, Marshall D, Stack E, Bowden RL, Jin Y, et al. Development of lines with a small introgressed segment carrying stem rust resistance gene Sr22. *Crop Science*. 2010;50(5):1823–1830.
16. Tsilo TJ, Jin Y, Anderson JA. Diagnostic microsatellite markers for the detection of stem rust resistance gene Sr36 in diverse genetic backgrounds of wheat. *Crop Science*. 2008;48:253–261.
17. Mago R, Zhang P, Bariana HS, Verlin DC, Bansal UK, Ellis JG, et al. Development of wheat lines carrying stem rust resistance gene Sr39 with reduced *Aegilops speltoides* chromatin and simple PCR markers for marker-assisted selection. *Theoretical and applied genetics*. 2009;119(8):1441–1450. doi: 10.1007/s00122-009-1146-7 EDN: YTDSNW

18. Faris JD, Xu SS, Cai X, Friesen TL, Jin Y. Molecular and cytogenetic characterization of a durum wheat — *Aegilops speltoides* chromosome translocation conferring resistance to stem rust. *Chromosome Research*. 2008;16(8):1097–1105. doi: 10.1007/s10577-008-1261-3 EDN: THOAFH
19. Mago R, Miah N, Lawrence GJ, Wellings CR, Spielmeyer W, Bariana HS, et. al. High-resolution mapping and mutation analysis separate the rust resistance genes Sr31, Lr26 and Yr9 on the short arm of rye chromosome 1. *Theoretical and applied genetics*. 2005;112:41–50. doi: 10.1007/s00122-005-0098-9 EDN: XOWBPP
20. Kim W, Johnson JW, Baenziger PS, Lukaszewski AJ, Gaines CS. Agronomic effect of wheat-rye translocation carrying rye chromatin (1R) from different sources. *Crop Science*. 2004;44(4):1254–1258.
21. Weng Y, Azhaguel P, Devkota RN, Rudd JC. PCR-based markers for detection of different sources of 1AL.1RS and 1BL.1RS wheat-rye translocations in wheat background. *Plant Breeding*. 2007;126(5):482–486. doi: 10.1111/j.1439-0523.2007.01331.x EDN: XPMTWX
22. Schnurbusch T, Bossolini E, Messmer B, Keller B. Tagging and validation of a major quantitative trait locus for leaf rust resistance and leaf tip necrosis in winter wheat cultivar Forno. *Phytopathology*. 2004;94(10):1036–1041.
23. Гультяева Е.И., Садовая А.С. Селекция мягкой пшеницы на устойчивость к бурой ржавчине в России // Защита и карантин растений. 2014. № 10. С. 24–26. EDN: SNGPTX
24. Гультяева Е.И. Генетическая структура популяций *Puccinia triticina* в России и ее изменчивость под влиянием растения-хозяина: дис. ... д-ра биол. наук. СПб., 2018. EDN: URARXH
25. Баранова О.А., Лапочкина И.Ф., Анисимова А.В., Гайнуллин Н.Р., Иорданская И.В., Макарова И.Ю. Идентификация генов Sr у новых источников устойчивости мягкой пшеницы к расе стеблевой ржавчины Ug99 с использованием молекулярных маркеров // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2015. Т. 19. № 3. С. 316–322. doi: 10.18699/VJ15.041 EDN: UFFNSX
26. Shiferaw GA, Hoffmann B. Recent advances and future perspectives in resistance breeding against *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*, strain Ug99. *Acta Agronomica Hungarica*. 2012;60(1):71–86.
27. Yu LX, Liu S, Anderson JA, Singh RP, Jin Y, Dubcovsky J, et. al. Haplotype diversity of stem rust resistance loci in uncharacterized wheat lines. *Molecular Breeding*. 2010;26(4):667–680. doi: 10.1007/s11032-010-9403-7 EDN: NYRAPP
28. Jin Y, Szabo LJ, Rouse MN, Fetch TJr, Pretorius ZA, Wanyera R, et. al. Detection of virulence to resistance gene Sr36 within the TTKS race lineage of *Puccinia graminis* f. sp. *Tritici*. *Plant Disease*. 2009;93(4):367–370. doi: 10.1094/PDIS-93-4-0367.
29. Kerber ER, Dyke PL. Transfer to hexaploid wheat of linked genes for adult-plant leaf rust and seedling stem rust resistance from amphiploid of *Aegilops speltoides* × *Triticum monococcum*. *Genome*. 1990;33(4):530–537.
30. Klindworth DL, Niu Z, Chao S, Friesen TL, Faris JD, Cai X et al. Introgression and characterization of a goatgrass gene for a high level of resistance to Ug99 stem rust in tetraploid wheat. *Genes, Genomes, Genetics*. 2012;2(6):665–673. doi: 10.1534/g3.112.002386

#### Об авторах:

Петин Вадим Андреевич — младший научный сотрудник, Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Российская Федерация, 656910, Алтайский край, г. Барнаул, Научный городок, д. 35; e-mail: 999.source.z@mail.ru

ORCID: 0000-0001-6175-9510 SPIN-код: 7177-1334

Лепехов Сергей Борисович — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Российская Федерация, 656910, Алтайский край, г. Барнаул, Научный городок, д. 35; e-mail: sergei.lepehov@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-1561-6345 SPIN-код: 9394-4835

Лапочкина Инна Фёдоровна — доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», Российская Федерация, 121205, г. Москва, Сколково, Большой бульвар, д. 30, стр. 1; e-mail: inna-lapochkina@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-2328-2798 SPIN-код: 9642-0889

Гайнуллин Наиль Рифкатович — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», Российская Федерация, 121205, г. Москва, Сколково, Большой бульвар, д. 30, стр. 1; e-mail: gainullin.nail@gmail.com

ORCID: 0000-0002-0970-662X SPIN-код: 4974-2310



# Почвоведение и агрохимия

## Soil science and agrochemistry

DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-589-605

EDN CCFFJY

УДК 631.452

*Научная статья / Research article*

### Оценка плодородия почв арктических городов с применением почвенно-экологического индекса

А.И. Лосев  , В.И. Васенев , Е.Д. Бережной , Ю.Л. Сотникова 

Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

 [losev-ai@rudn.ru](mailto:losev-ai@rudn.ru)

**Аннотация.** Плодородие городских почв Арктики лимитируется суровыми климатическими условиями и высокой антропогенной нагрузкой. Кроме типичного для любых урбанизированных территорий воздействия селитебного использования, рекреации и транспорта экосистемы арктических городов России испытывают техногенное воздействие очагов тяжелой промышленности, зачастую являющихся градообразующими. В таких условиях формируется почвенный покров крупнейших городов России — оценка их плодородия и лимитирующих его влияний необходимы для создания и содержания городской зеленой инфраструктуры — одного из ключевых факторов экологической комфортности жизни в городе. Приведена оценка кислотности, содержания органического вещества и общего азота, обеспеченности подвижными формами фосфора и калия верхнего слоя почв этих городов, а также дана интегральная оценка их плодородия на основе почвенно-экологического индекса (ПЭИ) И.И. Карманова, адаптированного в рамках исследования для применения к северным почвам и территориям. Показано, что по совокупности показателей почвы объектов формируют ряд Мурманск > Воркута > Норильск от наиболее плодородных к менее плодородным. Отмечено влияние антропогенного фактора на свойства почв, которые имеют как положительный (уменьшение средней кислотности почв на всех объектах), так и отрицательный (токсичные концентрации подвижного фосфора в почвах Мурманска) характер. По величине полученных ПЭИ сделан вывод об относительно высокой совокупной плодородности почв объектов исследования, сопоставимой с плодородностью почв средней и южной тайги.

**Ключевые слова:** показатели плодородия почв, арктические урбозкосистемы, бонитировка почв

**Вклад авторов:** Лосев А.И. — статистическая обработка, анализ и интерпретация результатов, построение графики, подготовка текста, работа с источниками; Васенев В.И. — постановка целей и задач, выбор точек отбора образцов и методов анализа, подготовка и редакция текста; Бережной Е.Д. — отбор, пробоподготовка и анализ почвенных образцов; Сотникова Ю.Л. — организация работы по пробоподготовке и анализу образцов, подготовка и редакция текста. Все авторы ознакомились с окончательной версией рукописи и одобрили ее.

© Лосев А.И., Васенев В.И., Бережной Е.Д., Сотникова Ю.Л., 2025

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

**Финансирование.** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и образования в рамках темы НИР по госзаданию FSSF-2024-0023.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**История статьи:** поступила в редакцию 2 сентября 2025 г., принята к публикации 3 октября 2025 г.

**Для цитирования:** Лосев А.И., Васенев В.И., Бережной Е.Д., Сотникова Ю.Л. Оценка плодородия почв арктических городов с применением почвенно-экологического индекса // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 4. 589–605. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-589-605 EDN: CCFFJY

## Assessment of soil fertility in Arctic cities using the soil-ecological index

Artem I. Losev  , Vyacheslav I. Vasenev ,  
Egor D. Berezhnoy , Yulia L. Sotnikova 

RUDN University, Moscow, Russian Federation  
 losev-ai@rudn.ru

**Abstract.** The fertility of urban soils in the Arctic is limited by harsh climatic conditions and high anthropogenic pressure. In addition to the typical impacts of residential use, recreation, and transportation common in any urbanized areas, the ecosystems of Russian Arctic cities are subject to the technogenic influence of heavy industry hubs, which often serve as the foundation for these cities. Under such conditions, the soil cover of the largest cities in the Russian Arctic — Murmansk, Vorkuta, and Norilsk — has formed. An analysis of the physical and chemical properties of urban soils, an assessment of their fertility, and the limiting factors are necessary for the creation and maintenance of urban green infrastructure, which is one of the key factors in the ecological comfort of city life. This study evaluates the acidity, organic matter and total nitrogen content, availability of mobile forms of phosphorus and potassium in the topsoil of these cities and provides an integrated assessment of their fertility based on the soil-ecological index (SEI) by I.I. Karmanov, adapted within the study for application to northern soils and territories. It is shown that, based on the combination of indicators, the soils of the studied sites form the sequence Murmansk > Vorkuta > Norilsk, from the most fertile to the least fertile. The influence of anthropogenic factors on soil properties is noted, which can be both positive (a decrease in average soil acidity across all sites) and negative (toxic concentrations of mobile phosphorus in the soils of Murmansk). Based on the obtained SEI values, it is concluded that the soils of the studied sites have relatively high overall fertility, comparable to that of soils in the middle and southern taiga.

**Keywords:** soil fertility indicators, Arctic urban ecosystems, soil bonification

**Author contributions:** A.I. Losev — statistical processing, analysis, and interpretation of results, graphics generation, text preparation, and source review; V.I. Vasenev — setting goals and objectives, selecting sampling sites and analytical methods, and preparing and editing the text; E.D. Berezhnoy — collecting, preparing, and analyzing soil samples; Yu.L. Sotnikova — organizing the sample preparation and analysis, and preparing and editing the text. All authors reviewed and approved the final version of the manuscript.

**Funding.** This work was supported by the Ministry of Science and Education under state contract FSSF-2024–0023.

**Conflict of Interest.** The authors declare no conflicts of interest.

**Article history:** received 2 September 2025; accepted 3 October 2025.

**For citation:** Losev AI, Vasenev VI, Berezhnoy ED, Sotnikova Yu L. Assessing soil fertility in Arctic cities using a soil-ecological index. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(4):589–605. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-589-605 EDN: CCFFJY

## Введение

Почвы городских экосистем играют ключевую роль в поддержании устойчивости урбанизированных территорий, обеспечивая такие экосистемные услуги, как депонирование углерода, регулирование гидрологического режима и поддержание биоразнообразия [1].

Плодородие почв — способность обеспечивать жизнедеятельность растений — в первую очередь критично для поддержания устойчивого озеленения и проектирования зеленой инфраструктуры, которая в условиях севера, помимо эстетических и рекреационных, выполняет ряд специфических утилитарных функций, связанных с природными и техногенными условиями. Например, противодействие эрозии, таянию многолетней мерзлоты, ветру, снегу и пыли, что в рамках северных регионов, подчеркивает важность и сложность поддержания зеленой инфраструктуры и, как следствие, плодородия почв, которые должны обеспечивать ее жизнедеятельность [2].

Антропогенная трансформация почвенного покрова в городах приводит к формированию специфических антропогенно-преобразованных и искусственных почв, свойства которых существенно отличаются от природных аналогов [3]. В условиях интенсивного техногенного воздействия городские почвы часто характеризуются ухудшением качества органического вещества, повышенным содержанием тяжелых металлов и измененными физико-химическими свойствами, включая уплотнение и запечатывание почвенного покрова, что ограничивает их функциональный потенциал [4–6].

В арктических городах эти процессы усугубляются экстремальными климатическими условиями, которые накладывают дополнительные ограничения на почвообразование и функционирование экосистем [7–9]. Низкие температуры, короткий вегетационный период и периодическое промерзание-оттаивание почв замедляют микробиологическую активность и процессы гумификации, снижая естественное плодородие [10]. Кроме того, промышленные выбросы от горнодобывающих, сталелитейных и прочих отраслей тяжелой промышленности, широко распространенных за полярным кругом, приводят к накоплению токсичных элементов, что дополнительно угнетает почвенную биоту и дестабилизирует экосистемы [11–13].

Таким образом, плодородие почв — их ключевое свойство — в городах Арктики лимитируется одновременно всеми перечисленными факторами, природными и антропогенными, включая как нагрузку, присущую всем урбанизированным территориям, так и специфическую для промышленных городов техногенную.

В условиях урбанизированных территорий оценка состояния почв требует особого внимания, что отражено в практике экологического нормирования, например, в Постановлении Правительства Москвы № 514-ПП. Однако для арктических городов отсутствие разработанных систем нормирования и контроля качества почв остается одной из проблем.

Для комплексной оценки состояния и плодородия почв перспективным подходом, таким образом, является использование интегральных индексов, объединяющих физические, химические и зачастую биологические показатели [14–16].

Интегральные индексы позволят не только диагностировать текущее состояние почв, но и оценить их потенциал в сравнении с фоновыми почвами, почвами других городов, в т. ч. расположенных в иных климатических зонах, с целью прогнозирования возможности применения этих индексов при проектировании зеленой инфраструктуры и устойчивости к дальнейшему антропогенному воздействию.

Один из наиболее распространенных в России индексов — почвенно-экологический индекс И.И. Карманова (ПЭИ) — разработан и применяется преимущественно для почв сельскохозяйственного использования, к тому же расположенных в более южных регионах [17, 18].

Таким образом, **цель исследования** — это комплексная оценка плодородия почвенного покрова крупных городских экосистем Арктики (на примере Мурманска, Норильска и Воркуты) в условиях антропогенного воздействия с применением и адаптацией методики почвенно-экологических индексов (ПЭИ) И.И. Карманова для определения потенциала и ограничений их использования в озеленении и благоустройстве.

## Материалы и методы исследования

**Объекты исследования.** Изучен почвенный покров трех крупнейших в России (и в мире, не считая Норвежского Тромсё, находящегося на третьем месте) городов с населением больше 50 тыс. жителей, расположенных за Северным полярным кругом, — Мурманска, Норильска и Воркуты [19].

Сведения об объектах исследования и их географическое расположение приведены в табл. 1 и на рис. 1 соответственно.

Таблица 1

Почвенно-географическая характеристика объектов исследования

| Город  | $\sum t > 10^\circ\text{C}$<br>(САТ) | Дней $ct >$        |                   | Почвенно-географическое районирование  | Количество точек                               |    |
|--|--------------------------------------|--------------------|-------------------|--|--|----|
|  |                                      | $10^\circ\text{C}$ | $0^\circ\text{C}$ |  |  |    |
| Мурманск<br>(68.970606 с. ш., 33.074749 в. д.) | ~800                                 | 30...60            | ~90               | Фация холодных, промерзающих почв (Кольско-Карельская провинция)   | 76   |    |
| Воркута<br>(67.493512 с. ш., 64.050145 в. д.)  | ~650                                 | 30...60            | <65               | Фация очень холодных, длительно промерзающих почв (Канинско-Печорская провинция)                         | 37   |    |
| Норильская агломерация [7]                     | ~688 [22]                            | 30...60            | ~65               | Граница между фацией очень холодных, длительно промерзающих почв и горной Анабаро-Путоранской провинцией | Норильск<br>(69.343983 с. ш., 88.210392 в. д.) | 37 |
|  |                                      |                    |                   |  | Талнах<br>(69.491662 с. ш., 88.390418 в. д.)   | 17 |
|  |                                      |                    |                   |  | Кайеркан<br>(69.351426 с. ш., 87.753701 в. д.) | 11 |
|  |                                      |                    |                   |  | Оганер<br>(69.358857 с. ш., 88.372239 в. д.)   | 13 |
|  |                                      |                    |                   |  |  | 78 |

Источник: выполнил А.И. Лосев с использованием данных из [7, 20, 22].



**Рис. 1.** Объекты исследования и точки отбора образцов  
 Источник: выполнил А.И. Лосев, QGIS Desktop 3.40.4.

*Отбор образцов* производился по генетическим горизонтам (и слоям, в случае большой мощности горизонтов) путем заложения почвенных разрезов/полюям/прикопок, либо бурением ручным буром Эдельмана.

*Определение плотности почв.* Плотность сложения определяли методом режущего кольца, путем отбора известного объема почвы в естественном сложении буриком Качинского / режущим кольцом и последующем гравиметрическим измерением влажности и массы образца.

*Определение общего углерода почв.* Содержание общего углерода определяли на анализаторе Elementar Vario TOC Select методом сухого каталитического сжигания при температуре 950 °С с детектированием выделившегося CO<sub>2</sub> недеспергирующим инфракрасным сенсором (NDIR).

*Определение органического вещества почв.* Органическое вещество (ОВ) почв определяли методом бихроматного окисления при нагреве до 100 °С с фотометрическим окончанием по ГОСТ 26213–2021<sup>1</sup>.

*Определение общего азота почв.* Содержание общего азота определяли методом Кьельдаля, основанном на минерализации навески почвы серной кислотой при нагревании до 400 °С в присутствии катализаторов, отгонке щелочного раствора, окисленного до аммонийной формы азота почвы, в борную кислоту и титровании

<sup>1</sup> ГОСТ 26213–2021. Почвы. Методы определения органического вещества. Введ. 2022-07-01. М. : Стандартинформ, 2021. 16 с.

образовавшегося аммоний-боратного комплекса серной кислотой, в соответствии с ГОСТ Р 58596–2019<sup>2</sup>.

*Определение кислотности почв.* pH водных (соотношение почва/раствор 1:10) и солевых вытяжек (соотношение почва/раствор 1:2,5) почв определяли прямым потенциометрическим методом с помощью pH-метра ЭКОТЕСТ-2000.

*Определение подвижных форм фосфора и калия.* Подвижные формы фосфора и калия определяли преимущественно методом Кирсанова (извлечение элементов раствором соляной кислоты концентрацией 0,2 моль/л) по ГОСТ Р 54650–2011<sup>3</sup>. Для образцов, содержащих карбонаты, применяли метод Мачигина (извлечение элементов раствором углекислого аммония концентрацией 10 г/л) по ГОСТ 26205–91<sup>4</sup>. Фосфор в обоих вытяжках определяли фотометрически на Nach Lange DR3900, калий методом ICP-OES на Perkin Elmer AVIO 200.

*Оценка/бонитировка почв с использованием почвенных индексов.* Для проведения интегральной оценки плодородия исследуемых почв использовали почвенно-экологический индекс (ПЭИ) И.И. Карманова [18, 17]. Данный индекс представляет собой произведение параметров, отражающих почвенные (физико-химические и агрохимические) и климатические особенности изучаемой территории:

- физико-химический параметр включает данные о содержании гумуса, плотности почвы, гранулометрическом составе и уровне гидроморфизма;
- агрохимический параметр учитывает pH почвы, концентрацию подвижного фосфора и калия;
- климатический параметр основан на среднегодовой сумме температур выше 10 °С, коэффициентах увлажнения и континентальности.

Индекс рассчитывается по формуле

$$\text{ПЭИ} = 12,5(2 - V) \cdot \Pi \cdot \text{ДС} \cdot \text{А} \frac{\sum t > 10 \text{ }^\circ\text{C} \cdot (\text{КУ} - 0,05)}{\text{КК} + 1000},$$

где ПЭИ — почвенно-экологический индекс, балл; 12,5 — постоянный множитель для всех почв; 2 — максимально возможная плотность при их предельном уплотнении, г/см<sup>3</sup>; V — плотность для метрового слоя почвы, г/см<sup>3</sup>;  $\Pi$  — коэффициент на полезный объем почвы (учитывает тип почвы и гранулометрический состав); ДС — дополнительно учитываемые свойства почв (учитывает гумусовое состояние);  $\sum t > 10 \text{ }^\circ\text{C}$  — среднегодовая сумма температур выше 10 °С; КУ — коэффициент увлажнения; КК — коэффициент континентальности климата; А — итоговый агрохимический индекс (учитывает кислотность, содержание фосфора и калия).

Коэффициенты для учета перечисленных факторов приведены авторами индекса [17] для оценки пахотных земель более южных регионов, где земледелие

<sup>2</sup> ГОСТ Р 58596–2019. Почвы. Методы определения общего азота. Введ. 2020–07–01. М. : Стандартинформ, 2019. 20 с.

<sup>3</sup> ГОСТ Р 54650–2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. Введ. 2013–01–01. М. : Стандартинформ, 2011. 12 с.

<sup>4</sup> ГОСТ 26205–91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. Введ. 1993–01–07. М. : Стандартинформ, 2015. 12 с.

и бонитировка почв более распространены и ограничиваются северной частью таежно-лесной почвенно-биоклиматической зоной.

В связи с этим для проведения интегральной оценки плодородия исследуемых почв мы применили этот индекс с рядом модификаций для почв полярного пояса (подробнее в разделе «Результаты исследования и обсуждение»).

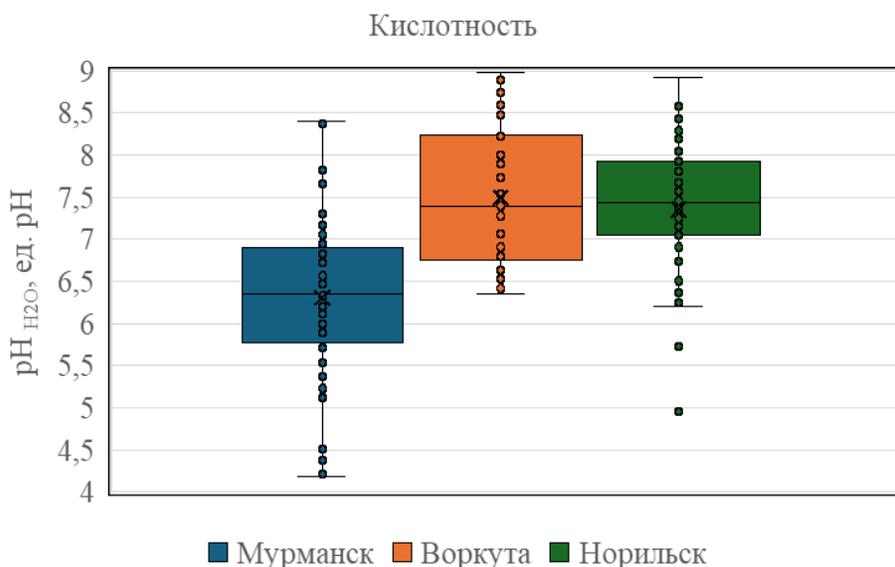
Для оценки статистической достоверности различий результатов между городами использовался многовариантный дисперсионный анализ (ANOVA), критерий Бонферрони для попарных сравнений (ввиду сравнения выборок разной величины) и коэффициент корреляции Пирсона.

Вычисления и построение диаграмм произведены в Microsoft Excel 2024 MSO.

Анализ и визуализация картографического материала выполнены на базе QGIS 3.40.

## Результаты исследования и обсуждение

**Кислотность почв.** В Мурманске рН водной вытяжки верхних горизонтов (рис. 2) в среднем составляет 6,31, варьируя в пределах от 4,18 до 8,40, что достоверно ниже, чем в Воркуте, где рН в среднем равен 7,50 (варьирует от 6,36 до 8,98), и Норильске со средним рН 7,36 (варьирует от 4,96 до 8,93). В свою очередь показатели кислотности почв Воркуты и Норильска значимо не различаются, однако отмечается заметная разница в величине стандартных отклонений (0,128 и 0,086 соответственно), что свидетельствует о более однородном по величине рН почвенном покрове на территории Норильска.



**Рис. 2.** Кислотность водной вытяжки верхних горизонтов почв Мурманска, Воркуты и Норильска

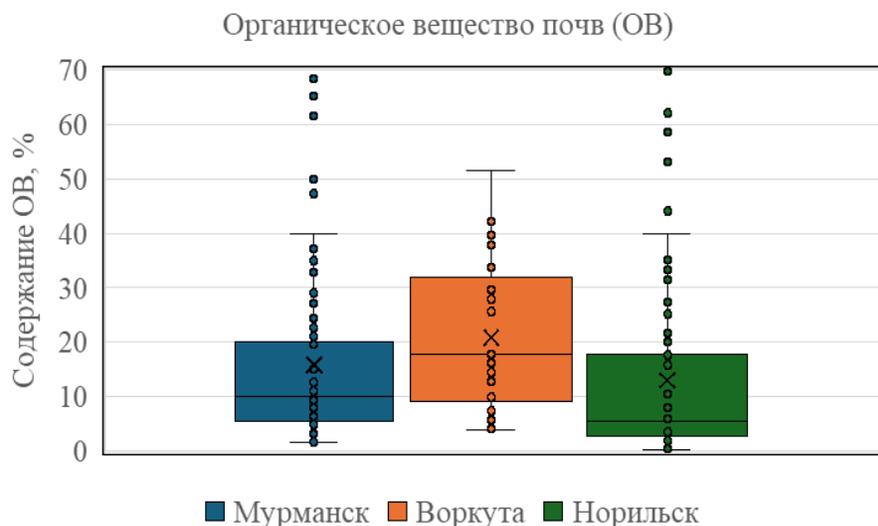
Источник: выполнил А.И. Лосев с помощью Microsoft Excel 2024 MSO.

Таким образом, по величине кислотности почвы Мурманска классифицируются в широком диапазоне от сильно кислых до щелочных, а почвы Воркуты и Норильска — от нейтральных до щелочных. При зональном уровне pH почв в арктической зоне (по данным исследований почв Мурманска [22, 23], Салехарда [24], Воркуты [25] и окрестностей [26]) порядка 3,5...5 (ближе к 7 в горной тундре) уменьшение кислотности почв исследуемых объектов объясняется различными антропогенными воздействиями, начиная с загрязнений техногенного характера и заканчивая полностью искусственным формированием почвенных горизонтов [27, 28].

**Органическое вещество почв.** Ввиду высокой вариабельности содержания ОВ в верхних горизонтах (рис. 3), среди которых встречались как минеральные горизонты, так и органоминеральные с полностью органогенными (торфяными), значимых различий по данному показателю между городами не обнаружено. Однако следует отметить тенденцию к увеличению среднего содержания ОВ в Воркуте (варьирует от 3,9 до 51,5 %, в среднем 20,9 %), в сравнении с Мурманском (варьирует от 1,5 до 68,7 %, в среднем 15,9 %) и Норильском (варьирует от 0,3 до 69,7 %, в среднем 13,1 %).

Данные диапазоны, в целом, покрывают разброс показателя в зональных почвах: 1...3 % в неторфяных горизонтах почв горных тундровых ландшафтов, 5...7 % в органо-аккумулятивных горизонтах дерново-подзолистых почв, до 50 % в оторфованных горизонтах подзолов [24–26, 29].

В урбанизированных городах Арктики содержание ОВ также описано в широких пределах от 2 до 50 % [22, 27].



**Рис. 3.** Содержание органического вещества в верхних горизонтах почв Мурманска, Воркуты и Норильска

Источник: выполнил А.И. Лосев с помощью Microsoft Excel 2024 MSO.

**Содержание элементов питания.** Описательные статистические данные о содержании в почвах объектов общего азота и подвижных форм фосфора и калия представлены в виде  $\frac{\text{mean} \pm \text{SD}}{(\text{min} - \text{max})}$ , для Норильска дополнительно приведены содержания фосфора и калия методом Мачигина, ввиду наличия карбонатов в большом количестве образцов (табл. 2).

Таблица 2

**Содержание элементов питания в верхних горизонтах почв Мурманска, Воркуты и Норильска**

| Объект   | N <sub>общ.</sub> % | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> подв., мг/кг | K <sub>2</sub> O подв., мг/кг | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> подв., мг/кг | K <sub>2</sub> O подв., мг/кг |
|----------|---------------------|--|-------------------------------|--|-------------------------------|
|          |                     | По Кирсанову                               |                               | По Мачигину                                |                               |
| Мурманск | 0,4 ± 0,33          | 1357,6 ± 987,2                             | 233,5 ± 138,2                 | —*   | —                             |
|          | (0,02–1,74)         | (42–4674)                                  | (49–668)                      |  |                               |
| Воркута  | 0,54 ± 0,35         | 280,9 ± 210                                | 199,8 ± 129                   | —  | —                             |
|          | (0,08–1,43)         | (10–815)                                   | (19–640)                      |  |                               |
| Норильск | 0,25 ± 0,32         | 264,3 ± 256,6                              | 312,2 ± 212,8                 | 50,8 ± 107,9                               | 213,1 ± 95,8                  |
|          | (0,01–1,7)          | (11–845)                                   | (83–825)                      | (3–795)                                    | (61–572)                      |

Примечание. \* — нет данных.

Источник: выполнил А.И. Лосев.

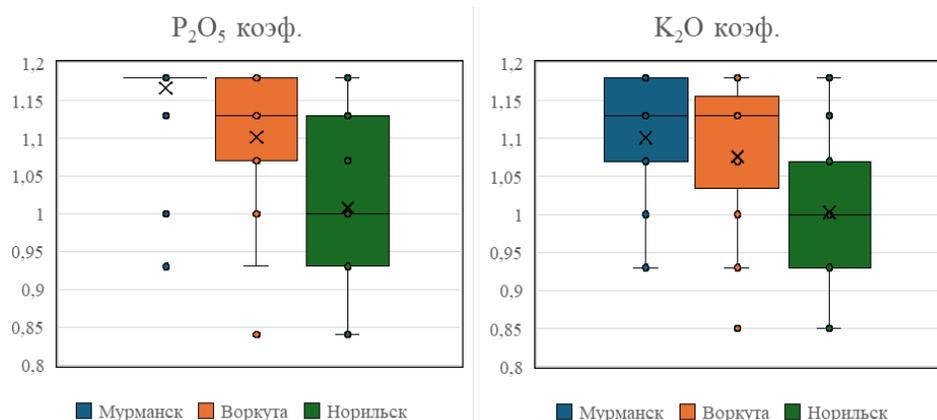
Содержание общего азота хорошо коррелировано с содержанием органического вещества (0,93 в Мурманске, 0,85 в Воркуте и 0,88 в Норильске), однако в отличие от ОВ, отмечается статистически достоверное различие по содержанию азота между Воркутой (0,54 % в среднем) и Норильском (0,25 % в среднем), что также свидетельствует о меньшей обеспеченности почв Норильска органикой, в дополнение к тенденции, выявленной ранее.

Отношение C/N в Норильске также самое высокое (41 в среднем) в сравнении с Воркутой (24 в среднем) и Мурманском (22 в среднем), из чего следует наименьшая обеспеченность ОВ почв Норильска азотом. При этом следует отметить, что обеспеченность азотом во всех исследуемых почвах не превышает среднего класса обеспеченности по Гришиной и Орлову (C/N = 8...11), а в основном характеризуется как очень низкая (C/N > 14).

По содержанию подвижных форм фосфора и калия на всех объектах отмечается сильная вариабельность показателей и, в среднем, высокая и очень высокая степень обеспеченности элементами. В случае с содержанием фосфора по Кирсанову, шкала обеспеченности, заканчивающаяся на 250 мг/кг, на объектах исследования превышает, за частую, в 2–4 раза, а в Мурманске вплоть до 18 раз. Это делает Мурманск наиболее обеспеченным по содержанию подвижного фосфора, среди прочих, объектом. Однако, согласно [35], такие концентрации фосфора уже могут быть токсичными для растений.

При условии, что содержание фосфора и калия для большинства образцов в Норильске определено методом, отличным от остальных городов, для проведения корректного сравнения объектов по степени обеспеченности этими элементами, использовали коэффициенты, применяемые при расчете ПЭИ, и присеваемые для каждого образца в зависимости от содержания элементов питания (очень низкая — 0,85, низкая — 0,93, средняя — 1,00, повышенная — 1,07, высокая — 1,13, очень высокая — 1,18).

При такой оценке по степени обеспеченности элементами питания от большей к меньшей объекты формируют ряд следующим образом: Мурманск>Воркута>Норильск (рис. 4).



**Рис. 4.** Коэффициенты степени обеспеченности верхних горизонтов почв Мурманска, Воркуты и Норильска подвижными формами фосфора и калия

Источник: выполнил А.И. Лосев с помощью Microsoft Excel 2024 MSO.

*Оценка/бонитировка почв с использованием почвенных индексов.* В целях оценки почв арктических городов для ряда показателей коэффициенты проэкстраполировали до зоны тундровых глеевых почв и подбуров Субарктики полярного пояса (табл. 3).

Таблица 3

**Модифицированные для северных территорий коэффициенты, использованные для расчета ПЭИ**

| Полезный объем почвы (коэффициент П)                               |                  |                  |                 |         |               |
|--|------------------|------------------|-----------------|---------|---------------|
| Глина  | Тяжелый суглинок | Средний суглинок | Легкий суглинок | Супесь  | Песок         |
| 0,63   | 0,74             | 0,85             | 0,85            | 0,84    | 0,71          |
| Обеспеченность подвижными формами фосфора (входит в коэффициент А) |                  |                  |                 |         |               |
| Очень низкое   | Низкое           | Среднее          | Повышенное      | Высокое | Очень высокое |
| 0,84   | 0,93             | 1,00             | 1,07            | 1,13    | 1,18          |

| Обеспеченность подвижными формами калия (входит в коэффициент А) |              |             |                       |             |               |
|--|--------------|-------------|-----------------------|-------------|---------------|
| Очень низкое   | Низкое       | Среднее     | Повышенное            | Высокое     | Очень высокое |
| 0,85   | 0,93         | 1,00        | 1,07                  | 1,13        | 1,18          |
| Кислотность почв (входит в коэффициент А)                        |              |             |                       |             |               |
| Сильнокислая   | Среднекислая | Слабокислая | Близкая к нейтральной | Нейтральная |               |
| 0,91   | 0,98         | 1,03        | 1,10                  | 1,18        |               |

Источник: выполнил А.И. Лосев.

В рамках оценки исследуемых городов структуру ПЭИ можно представить четырехчастной:

1) неизменная для всех городов, в которую входят постоянный множитель, разница между максимальной возможной и фактической плотностью, коэффициент на полезный объем почвы. Ввиду особенностей индекса и предельных значений для некоторых коэффициентов, их произведение у всех трех городов было равно 4,57, что делает первую часть ПЭИ константой;

2) гумусовый коэффициент, определяемый по отношению фактического содержания ОВ к средней величине в исследуемой зоне;

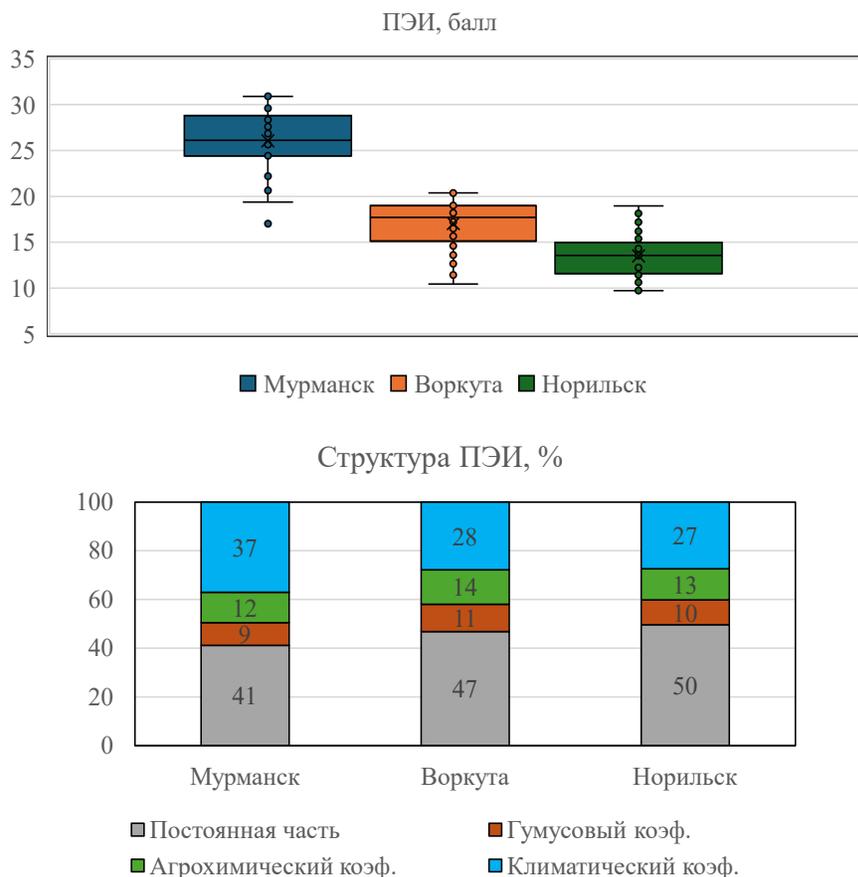
3) агрохимический коэффициент, представленный произведением приведенных в табл. 3 модифицированных коэффициентов агрохимических свойств;

4) климатический коэффициент, высчитываемый по климатическим данным, приведенным в разделе «Материалы и методы исследования».

Исследуемые города значительно отличаются друг от друга по совокупности ПЭИ, рассчитанных для каждой точки отбора, что хорошо видно на графике (рис. 5). Почвы Мурманска имеют самые высокие баллы (26 в среднем, варьируют от 17 до 31), затем следуют почвы Воркуты (17 в среднем, варьируют от 10 до 20), и наименьшая оценка у почв Норильска (13 в среднем, варьируют от 10 до 19).

Однако, при оценке вклада каждого коэффициента в итоговый ПЭИ (рис. 5, диаграмма с накоплением) отмечено, что среди переменных коэффициентов вклад климатического был существенно большим (в 1,5–2 раза), чем остальные, в каждом городе.

Несмотря на то, что климатический фактор является критически важным в контексте вегетации растений и их продуктивности (для оценки чего в первую очередь и разрабатывался ПЭИ), дисбаланс, который он вносит в структуру ПЭИ, в рамках этого исследования отводит почвенные факторы на второй план. Для сравнения почвенного покрова исследуемых городов в отрыве от климатических различий рассчитали ПЭИ, климатический коэффициент в котором для всех городов усреднен. Ключевыми климатическими особенностями для всех трех городов, несмотря на различия в абсолютных значениях в рамках ПЭИ, остаются промывной (гумидный) тип водного режима, короткий и холодный вегетационный период, в связи с чем такое усреднение в рамках оценки почв можно считать релевантным.



**Рис. 5.** ПЭИ Мурманска, Воркуты и Норильска и их структура  
 Источник: выполнил А.И. Лосев с помощью Microsoft Excel 2024 MSO.

Сравнение городов по ПЭИ с уравненным климатическим коэффициентом (табл. 4) показало менее выраженную дифференциацию городов по потенциальному уровню плодородия, чем по полному ПЭИ. Почвы Мурманска ( $19,7 \pm 2,1$  баллов в среднем) значительно не отличаются от почв Воркуты ( $19,6 \pm 3,0$  баллов в среднем), однако почвы Норильска по-прежнему имеют достоверно наименьшие показатели ( $16,7 \pm 2,9$  баллов в среднем).

Таблица 4

**Статистическая характеристика коэффициентов  
 для расчета ПЭИ Мурманска, Воркуты и Норильска**

| Показатель             | Мурманск                            | Воркута                            | Норильск                            |
|------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| Постоянный множитель   | 4,57                                |                                    |                                     |
| Гумусовый коэффициент* | $\frac{1,04 \pm 0,17}{(0,70-1,15)}$ | $\frac{1,1 \pm 0,11}{(0,78-1,15)}$ | $\frac{0,94 \pm 0,20}{(0,70-1,15)}$ |

Окончание табл. 4

| Показатель                                  | Мурманск                           | Воркута                            | Норильск                           |
|---|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Агрохим коэффициент*                        | $\frac{1,4 \pm 0,10}{(0,91-1,64)}$ | $\frac{1,4 \pm 0,20}{(0,84-1,64)}$ | $\frac{1,2 \pm 0,20}{(0,84-1,64)}$ |
| Климатический коэффициент                   | 4,12                               | 2,71                               | 2,52                               |
| ПЭИ*  | $\frac{26,1 \pm 2,8}{(17-30,9)}$   | $\frac{17 \pm 2,6}{(10,4-20,4)}$   | $\frac{13,5 \pm 2,3}{(9,7-19,0)}$  |
| Усредненный климатический коэффициент       | 3,12                               |                                    |                                    |
| ПЭИ с уравниваем климатическим коэффициент* | $\frac{19,7 \pm 2,1}{(12,9-23,4)}$ | $\frac{19,6 \pm 3,0}{(12,0-23,4)}$ | $\frac{16,7 \pm 2,9}{(12,0-23,4)}$ |

Примечание. \* Данные приведены в виде  $\frac{\text{mean} \pm \text{SD}}{(\text{min} - \text{max})}$ .

Источник: выполнил А.И. Лосев.

Таким образом, экстремальные уровни загрязнения тяжелыми металлами, сформировавшиеся в Норильске и его окрестностях под воздействием металлургической промышленности, находят свое отражение в биогеохимических циклах. Через нарушение деятельности почвенной биоты, ухудшение структуры почвы, качества и циклов минерализации органического вещества, снижение содержания и доступности макроэлементов, загрязнение почв приводит к уменьшению их плодородия и естественных экологических функций. ПЭИ остальных исследованных городов можно рассматривать как потенциал и основание ремедиации почв Норильска, улучшения их свойств и обеспечения таким образом их более эффективного вовлечения в решение задач по озеленению города и улучшению экологической обстановки в целом.

При разработке индекса за ПЭИ, равный 100, был принят ПЭИ чернозема Краснодарского края, не подверженного эрозии, оглеению и прочим негативным факторам почвообразования. Фактические индексы, получаемые при исследованиях почвенного покрова черноземной зоны, варьируют в пределах 60...80 в случае типичных и обыкновенных черноземов [31, 32], могут снижаться вплоть до 30...40 для выщелоченных и оподзоленных черноземов [33], но в целом варьируют около 50 [34]. Для серых лесных почв характерен индекс 20...40 в пределах градации от светло к темным серым лесным [35]. Для дерново-подзолистых описан широкий диапазон от 15...20 баллов в восточной части РФ [32, 34, 35] до 30...80 в европейской части страны [36–38] (аналогичный диапазон ПЭИ характерен для урбаноземов Московской области, но может превышать и 100 баллов [36, 39]).

Опираясь на эти значения, с помощью полученных индексов (варьирующих в среднем пределах от 10 до 31), можно не только оценить различие почвенного покрова объектов, но и констатировать, что в совокупности почвы арктических городов сопоставимы по бонитету с зональными почвами южной и средней тайги — дерново-подзолистыми, пусть и наименее плодородными их представителями в рамках почвенного типа, но все же более плодородными, чем зональные почвы Арктики.

## Заключение

Мурманск, Норильск и Воркута — крупные городские экосистемы, расположенные за полярным кругом. Характеристика почвенного покрова подобных территорий не столь широко освещена в литературе и представляет научный интерес в рамках исследований арктических территорий в условиях изменения климата и урбанизации.

В результате антропогенного воздействия на территории всех городов отмечается повышение уровня рН водной вытяжки относительно значений зональных почв на 1–2 ед. рН в среднем.

Объекты сопоставимы по содержанию органического углерода, однако по совокупности агрохимических характеристик (содержание подвижных форм фосфора и калия, обеспеченность органического вещества азотом) почвы Норильска характеризуется как наименее плодородные.

При в целом хорошей обеспеченности всех объектов подвижными элементами питания в верхних горизонтах почв Мурманска содержание подвижного фосфора часто превышает порог токсичности ( $> 800$  мг/кг).

Для интегральной оценки плодородия городских почв арктического пояса путем экстраполяции коэффициентов учета различных свойств почв применена методика почвенно-экологических индексов И.И. Карманова.

В результате бонитировки выявлено, что в рамках применения рассмотренной системы индексов максимальный вклад в итоговый балл на территории имеет климатический фактор, который способствует четкой градации городов по уровню плодородия в ряду: Мурманск  $>$  Воркута  $>$  Норильск. Оценка объектов без учета климатического фактора статистически уравнивает почвы Мурманска и Воркуты, однако почвы Норильска по-прежнему оцениваются как наименее плодородные, что связывается с нарушением естественных биогеохимических циклов и процессов по причине экстремальных уровней загрязнения почв Норильска поллютантами техногенной природы.

В совокупности ПЭИ арктических городов варьирует от 10 до 31 балла, что можно приблизительно сопоставить со значениями ПЭИ целинных дерново-подзолистых почв таежной зоны, а это свидетельствует о достаточном потенциале почвенного покрова исследуемых городов для озеленения при реализации проектов по их озеленению и благоустройству.

Однако, выявлены и ключевые ограничения применения ПЭИ при оценке городских почв и почв городов Арктики, в частности: климатическая зависимость — в условиях Арктики температурный фактор резко снижает общий балл, что может маскировать реальные возможности почв при локальном улучшении микроклимата (например, в урбанизированных зонах); неучет специфики загрязнения — методика не всегда отражает последствия химического загрязнения (например, токсичность избытка фосфора в Мурманске или тяжелых металлов в Норильске), что требует дополнительных корректировок при нормировании; учет свойств только поверхностного горизонта почв — при оценке почв городов,

зачастую сложенных искусственно и характеризующихся высокой вертикальной анизотропностью, оптимален был учет строения и характеристик как минимум корнеобитаемого слоя почвы.

Тем не менее, применение ПЭИ в качестве основы для разработки региональных нормативов плодородия городских почв представляется перспективным, особенно при адаптации коэффициентов под арктические условия.

## Список литературы

1. Vasenev V.I., Ivashchenko K.V., Smagin A.V., Prokofeva T.V., Gosse D.D., Ananyeva N.D., Gavrilenko E.G., Paltseva A., Stoorvogel J.J., Valentini R. Urban Soil's functions: monitoring, assessment, and management // Adaptive soil management: from theory to practices / ed. By A. Rakshit, P. Abhilash, H. Singh, S. Ghosh. Springer Singapore, 2017. P. 359–409. doi: 10.1007/978-981-10-3638-5\_18 EDN: WTLBDG
2. Moskovchenko D., Fedorov R., Fakhretdinov A. Green infrastructure dynamics in the urban areas of subarctic Western Siberia // Urban Ecosystems. 2025. Vol. 28. P. 155. doi: 10.1007/s11252-025-01759-7 EDN: UYYFZG
3. Korneykova M., Vasenev V., Kozlova E., Soshina A., Nikitin D., Dolgikh A., Saltan N. Microbial communities of urban and industrial polluted soils in the Russian Arctic // Geoderma Regional. 2024. Vol. 39. P. e00890. doi: 10.1016/j.geodrs.2024.e00890 EDN: BJCPAY
4. Saltan N., Vasenev V., Korneykova M., Slukovskaya M., Zavodskikh M., Sarzhanov D. The effect of urbanisation on wintertime soil respiration in the Russian Arctic // Journal of Soils and Sediments. 2024. Vol. 25. P. 343–450. doi: 10.1007/s11368-024-03885-9 EDN: OXJBMI
5. Dvornikov Y.A., Vasenev V., Romzaykina O.N., Grigorieva V.E., Dolgikh A.V., Korneykova M.V., Litvinov Y.A., Gorbov S.N., Gosse D.D. Projecting the urbanization effect on soil organic carbon stocks in polar and steppe areas of European Russia by remote sensing // Geoderma. 2021. Vol. 399. P. 115039. doi: 10.1016/j.geoderma.2021.115039 EDN: HZVXKN
6. Корнейкова М.В., Салтан Н.В., Козлова Е.В., Васильева М.Н., Давыдова П.Д., Бережной Е.Д. Микробные сообщества городских почв Норильской агломерации // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2024. Т. 19. № 3. С. 431–446. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-3-431-446 EDN: BVDKCD
7. Unc A., Altdorff D., Abakumov E., Adl S., Baldursson S., Bechtold M., Cattani D.J., Firbank L.G., Grand S., Guðjónsdóttir M., Kallenbach C., Kedir A.J., Li P., McKenzie D.B., Misra D., Nagano H., Neher D.A., Niemi J., Oelbermann M., Overgård Lehmann J., Parsons D., Quideau S., Sharkhuu A., Smreczak B., Sorvali J., Vallotton J.D., Whalen J.K., Young E.H., Zhang M., Borchard N. Expansion of agriculture in Northern cold-climate regions: a cross-sectoral perspective on opportunities and challenges // Frontiers in Sustainable Food Systems. 2021. Vol. 5. P. 663448. doi: 10.3389/FSUFS.2021.663448 EDN: ZGJJDW
8. Ji X., Abakumov E., Polyako V., Xie X., Dongyang W. The ecological impact of mineral exploitation in the Russian Arctic: a field-scale study of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in permafrost-affected soils and lichens of the Yamal-Nenets autonomous region // Environmental Pollution. 2019. Vol. 255. P. 113239. doi: 10.1016/j.envpol.2019.113239 EDN: ZRHIAD
9. Abakumov E., Polyakov V., Morgun E., Pechkin A. Abandoned agricultural soils from the central part of the Yamal region of Russia: morphology, diversity, and chemical properties // Open Agriculture. 2020. Vol. 5. № 1. P. 94–106. doi: 10.1515/opag-2020-0010 EDN: FUZDUX
10. Корнейкова М.В., Васенев В.И., Салтан Н.В., Слуковская М.В., Сошина А.С., Заводских М.С., Сотникова Ю.Л., Долгих А.В. Анализ эмиссии CO<sub>2</sub> городскими почвами в условиях Крайнего Севера // Почвоведение. 2023. № 11. С. 1385–1399. doi: 10.31857/S0032180X23600373 EDN: МЕРСМН
11. Slukovskaya M.V., Vasenev V.I., Ivashchenko K.V., Morev D.V., Drogobuzhskaya S.V., Ivanova L.A., Kremenetskaya I.P. Technosols on mining wastes in the subarctic: efficiency of remediation under Cu-Ni atmospheric pollution // International Soil and Water Conservation Research. 2019. Vol. 7. № 3. P. 297–307. doi: 10.1016/j.iswcr.2019.04.002 EDN: WLDEWR
12. Dvornikov Y., Slukovskaya M., Gurinov A., Vasenev V. Soil type and content of macro-elements determine hotspots of Cu and Ni accumulation in soils of subarctic industrial barren: inference from a cascade machine learning // Environmental Pollution. 2025. Vol. 377. P. 126457. doi: 10.1016/j.envpol.2025.126457
13. Dvornikov Y., Slukovskaya M., Yaroslavtsev A., Ryazanov A., Sarzhanov D., Meshalkina J., Vasenev V. High resolution mapping of soil pollution by Cu and Ni at a polar industrial barren area using proximal and remote

sensing // Land Degradation and Development. 2022. Vol. 33. № 10. P. 1731–1744. doi: 10.1002/ldr.4261 EDN: RZEMJD

14. Гутников В.А., Клюкин Н.Ю. Интегральная характеристика плодородия почвы для градостроительства // Градостроительство. 2017. № 4 (50). С. 43–46. EDN: ZUKGNZ

15. Терехова В.А. Биотестирование экотоксичности почв при химическом загрязнении: современные подходы к интеграции для оценки экологического состояния (обзор) // Почвоведение. 2022. № 5. С. 586–599. doi: 10.31857/S0032180X22050094 EDN: RAQEFC

16. Тикунов В.С., Белоусов С.К. Интегральная оценка и картографирование антропогенного воздействия на природную среду регионов России // Наука. Инновации. Технологии. 2021. № 1. С. 89–106. doi: 10.37493/2308-4758.2021.1.6 EDN: BTWMAO

17. Карманов И.И. Почвенно-экологическая оценка // Теоретические основы и пути регулирования плодородия почв. М. : Агропромиздат, 1991. С. 161–233.

18. Булгаков Д.С., Карманов И.И. Методика почвенно-агроклиматической оценки пахотных земель для кадастра. М. : Почв. ин-т им. В.В. Докучаева; АПР, 2012. 122 с.

19. Бульчева А.И. Современные тенденции экологического проектирования общественных пространств за Северным полярным кругом // Город, пригодный для жизни : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Красноярск, 11–12 нояб. 2021 г. / отв. за вып. Д.Е. Лемьтская. Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2022. С. 133–137. EDN: BWDNEO

20. Шоба С.А., Алябина И.О., Урусевская И.С., Чернова О.В. Национальный атлас почв Российской Федерации / науч. конс. Г.В. Добровольский. М. : Астрель; Фак. почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, 2011. 631 с.

21. Севастьянов Д.В., Исаченко Т.Е., Гук Е.Н. Норильский регион: от природной специфики к практике освоения // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. 2014. № 3. С. 82–94. EDN: SJUQN

22. Петрова А.А., Абакумов Е.В. Содержание тяжелых металлов в почвах города Мурманска // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98. № 5. С. 478–482. doi: 10.18821/0016–9900-2019-98-5-478-482 EDN: XXVQFB

23. Вихман М.И., Кислых Е.Е., Лисенко Л.А., Голубева И.В. Мониторинг кислотности почв Мурманской области // Агрохимический вестник. 2006. № 3. С. 7–10. EDN: LLVAND

24. Недбаев И.С., Колесников Р.А., Локтев Р.И., Брючко М.А., Хохлова Л.П., Шацкова С.А., Артамонова А.А. Особенности почв Приуральского района Ямало-Ненецкого автономного округа // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2024. № 1 (122). С. 92–107. doi: 10.26110/ARCTIC.2024.122.1.006 EDN: FPAEYT

25. Северьянова Е.Н. Эколого-геохимическая характеристика почвенного покрова в зоне деятельности угледобывающего предприятия на примере города Воркуты республики Коми // Альманах современной науки и образования. 2015. № 10 (100). С. 127–129. EDN: UMDRKH

26. Васильчук Ю.К., Васильчук Д.Ю., Белик А.Д., Гинзбург А.П., Буданцева Н.А., Васильчук А.К. Криогенные почвы близ пос. Елецкий, северо-восток Республики Коми // Арктика и Антарктика. 2020. № 4. С. 51–79. doi: 10.7256/2453-8922.2020.4.34011 EDN: VXHHGK

27. Несговорова Н.П., Мирская А.С. Состояние системы «почва — растения» как показатель качества окружающей среды горно-металлургического центра города Норильска // Эколого-географические аспекты природопользования, рекреации, туризма : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году экологии в России, Курган, 08–09 нояб. 2017 г. / отв. ред. Н.П. Несговорова. Курган : Курган. гос. ун-т, 2017. С. 100–104. EDN: YKZIGA

28. Вихман М.И., Ингири А.А., Ласкин П.В., Хаитбаев А.Х. Динамика кислотности почв в агрофитоценозах Мурманской области в многолетнем цикле // Известия ОГАУ. 2011. № 2 (30). С. 23–25. EDN: NUUKLZ

29. Сухарева Т.А., Иванова Е.А., Ершов В.В., Зенкова И.В., Корнейкова М.В., Штабровская И.М., Сошина А.С. Содержание и запасы углерода и азота в наземных экосистемах Мурманской области // Вопросы лесной науки. 2023. Т. 6. № 2. С. 49–124. doi: 10.31509/2658-607x-202362-125 EDN: XTDOIM

30. Терехова В.А., Домашнев Д.Б., Каниськин М.А., Степачев А.В. Экотоксикологическая оценка повышенного содержания фосфора в почвогрунте по тест-реакциям растений на разных стадиях развития // Проблемы агрохимии и экологии. 2009. № 3. С. 21–26. EDN: KWYOVN

31. Слюсарев В.Н., Онищенко Л.М., Швец Т.В. Почвенно-экологическая оценка чернозема выщелоченного Западного Предкавказья // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 89. С. 960–972. EDN: TJAPXD

32. Аксенова Ю.В., Шпедт А.А., Красницкий В.М., Шмидт А.Г. Оценка почвенных ресурсов Омской области // Земледелие. 2018. № 3. С. 14–18. doi: 10.24411/0044-3913-2018-10302 EDN: YWZHSY

33. Козлова А.А., Иванова Т.С. Почвенно-экологическая оценка земель сельскохозяйственного назначения Иркутской области, республик Хакасии и Тувы // Современное состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса Сибирского региона и сопредельных территорий : материалы III Междунар. науч.-практ. конф., Кызыл, 29–30 мая 2024 г. Кызыл : Тувин. гос. ун-т, 2024. С. 124–128. doi: 10.24412/cl-35112-2024-1-124-128 EDN: GSLNXG

34. Шпедт А.А., Козлова А.А., Белозерцева И.А., Гранина Н.И., Лопатовская О.Г., Киселева Н.Д., Куклина С.Л., Мартынова Н.А., Лопатина Д.Н. Почвенно-экологическая оценка сельскохозяйственных земель Красноярского края, Иркутской области, Республики Бурятия // Земледелие. 2022. № 1. С. 9–13. doi: 10.24412/0044-3913-2022-1-9-13 EDN: JLLQAT

35. Козлова А.А., Жуланова В.Н., Белозерцева И.А., Кутькина Н.В., Иванова Т.С. Сравнительная почвенно-экологическая оценка сельскохозяйственных земель Иркутской области, Республик Бурятия, Хакасия и Тыва // Землеустройство, кадастр недвижимости и мониторинг земельных ресурсов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Улан-Удэ, 25–27 апр. 2022 г. / под общ. ред. Л.О. Григорьевой. Улан-Удэ : Бурят. гос. ун-т им. Доржи Банзарова, 2022. С. 208–212. EDN: ESBPBM

36. Гавриленко Е.Г., Ананьева Н.Д., Макаров О.А. Оценка качества почв разных экосистем (на примере Серпуховского и Подольского районов Московской области) // Почвоведение. 2013. № 12. С. 1505–1516. doi: 10.7868/S0032180X13120058 EDN: REKCBF

37. Булгаков Д.С., Сорокина Н.П., Карманов И.И., Авдеева Т.Н., Савицкая Н.В., Грибов В.В. Применение и верификация почвенно-экологического индекса при оценке структур почвенного покрова пахотных угодий // Почвоведение. 2013. № 11. С. 1367–1377. doi: 10.7868/S0032180X13110038 EDN: REKBWF

38. Полякова А.И. Оценка состояния почв сельскохозяйственного назначения на основе почвенно-экологических индексов // Экологический мониторинг, моделирование и проектирование в условиях природных, городских и агроэкосистем : сб. материалов конф., Москва, 01–11 июля 2015 г. / под общ. ред. И.И. Васенева, Р. Валентини. М. : Скрипта Манент, 2015. С. 151–153. EDN: UIDVJD

39. Васнев В.И. Анализ микробного дыхания и углеродных пулов при функционально-экологической оценке конструкторземов Москвы и Московской области : автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2011. 24 с. EDN: QHQLPE

#### Об авторах:

*Лосев Артем Иванович* — младший научный сотрудник почвенно-экологической лаборатории Аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: losev-ai@rudn.ru

ORCID: 0000-0001-9037-8493 SPIN-код: 9701-2058 Researcher ID: HNQ-5662-2023

*Васнев Вячеслав Иванович* — доктор биологических наук, доцент департамента ландшафтного проектирования и устойчивых экосистем Аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: vasenev-vi@rudn.ru

ORCID: 0000-0003-0286-3021 SPIN-код: 7209-1269 Researcher ID: N-8451-2016

*Бережной Егор Дмитриевич* — специалист почвенно-экологической лаборатории Аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: berezhnoy-ed@rudn.ru

ORCID: 0009-0003-0268-9577 SPIN-код: 9576-6005

*Сотникова Юлия Леонидовна* — кандидат химических наук, заведующий Почвенно-экологической лабораторией Аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая д. 6, e-mail: sotnikova-yul@rudn.ru

ORCID: 0000-0002-7839-9141 SPIN-код: 8721-0022 Researcher ID: AAM-7906-2021



DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-606-617

EDN CDGCKT

УДК 691.278:631.84

Научная статья / Research article

## Агрохимическая оценка влияния вермикулита на снижение подвижности ионов аммония

И.П. Кременецкая<sup>1</sup> , М.В. Слуковская<sup>1, 2, 3</sup>  ,Л.А. Иванова<sup>2, 4</sup> , М.А. Ярцева<sup>4</sup> , Т.К. Иванова<sup>1, 2</sup> 

<sup>1</sup>Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева — обособленное подразделение федерального государственного бюджетного учреждения науки ФИЦ Кольский научный центр РАН, г. Апатиты, Российская Федерация

<sup>2</sup>ФИЦ Кольский научный центр РАН, г. Апатиты, Российская Федерация

<sup>3</sup>Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

<sup>4</sup>Полярно-альпийский ботанический сад-институт КНЦ РАН, г. Апатиты, Российская Федерация

 slukovskaya.mv@gmail.com

**Аннотация.** Методами фитотестирования почвосмесей с определением форм азота выполнена агрохимическая оценка влияния вспученного вермикулита на снижение подвижности ионов аммония. В исследовании применена мочевины, которую вносили в гранулированном или растворенном виде в широком диапазоне величины дозы азота, в т. ч. с превышением предельно допустимой концентрации. Использовали два вида грунта, отличающихся по содержанию органического компонента. Показано, что вермикулит эффективно снижает содержание обменной формы аммония, фиксированный аммоний превращается в нитратную форму медленнее по сравнению с обменным аммонием.

**Ключевые слова:** агрохимические исследования, азотные удобрения, аммонийный азот, нитратный азот, фиксированный аммоний, фитотестирование

**Вклад авторов:** Кременецкая И.П. — концепция исследования, написание текста; Слуковская М.В. — дизайн исследования; Иванова Л.А. — дизайн исследования; Ярцева М.А. — сбор и обработка материалов; Иванова Т.К. — анализ данных. Все авторы одобрили окончательную версию рукописи.

**Финансирование.** Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 24-77-10055). Получение исходных материалов для проведения исследования выполнено в рамках государственного задания № FMEZ-2025–0059 Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья КНЦ РАН.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Кременецкая И.П., Слуковская М.В., Иванова Л.А., Ярцева М.А., Иванова Т.К., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

**История статьи:** поступила в редакцию 7 мая 2025 г., принята к публикации 8 октября 2025 г.

**Для цитирования:** Кременецкая И.П., Слуковская М.В., Иванова Л.А., Ярцева М.А., Иванова Т.К. Агрохимическая оценка влияния вермикулита на снижение подвижности ионов аммония // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 4. С. 606–617. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-606-617 EDN: CDGCKT

## Agrochemical assessment of the effect of vermiculite on reducing ammonium ion mobility

Irina P. Kremenetskaya<sup>1</sup> , Marina V. Slukovskaya<sup>1,2,3</sup>  ,  
Liubov A. Ivanova<sup>2,4</sup> , Maria A. Yartseva<sup>4</sup> ,  
Tatiana K. Ivanova<sup>1,2</sup> 

<sup>1</sup>I.V. Tananaev Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials — Federal Research Centre “Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences”,  
*Apatity, Russian Federation*

<sup>2</sup>Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, *Apatity, Russian Federation*

<sup>3</sup>RUDN University, *Moscow, Russian Federation*

<sup>4</sup>N.A. Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden and Institute, Federal Research Centre “Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences”, *Apatity, Russian Federation*

 slukovskaya.mv@gmail.com

**Abstract.** An agrochemical assessment of the effect of expanded vermiculite on reducing ammonium ions mobility was carried out using methods of phytotesting soil mixtures with determination of nitrogen forms. The studies were conducted using urea, which was added in granular or dissolved form in a wide range of nitrogen dose values, including those exceeding the maximum permissible concentration. We used two types of soil, which differ in the content of the organic component. It has been shown that expanded vermiculite effectively reduces the content of the exchangeable form of ammonium; fixed ammonium turns into the nitrate form more slowly compared to exchangeable ammonium.

**Keywords:** agrochemical research, nitrogen fertilizers, ammonium nitrogen, nitrate nitrogen, fixed ammonium, phytotesting

**Author contributions:** I.P. Kremenetskaya — research concept, text writing; M.V. Slukovskaya — research design; L.A. Ivanova — research design; M.A. Yartseva — collection and processing of materials; T.K. Ivanova — data analysis. All authors approved the final version of the manuscript.

**Funding.** The study was supported by the Russian Science Foundation (Project No. 24–77–10055). The acquisition of source materials for the study was carried out within the framework of the state assignment No. FMEZ-2025-0059 of the Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences.

**Conflict of Interest.** The authors declare no conflicts of interest.

**Article history:** received 7 May 2025; accepted 8 October 2025.

**For citation:** Kremenetskaya IP, Slukovskaya MV, Ivanova LA, Yartseva MA, Ivanova TK. Agrochemical assessment of the effect of vermiculite on reducing ammonium ion mobility. *Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(4):606–617. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-606-617 EDN: CDGCKT

## Введение

Интенсивное применение минеральных азотных удобрений на современном этапе развития агротехнологий привело к ряду негативных последствий, таких как нарушение природного биогеохимического цикла азота, деградация свойств почв и угнетение процессов их функционирования [1, 2]. Эвтрофикация водоемов в результате избыточного поступления нитратов, эмиссия соединений азота из почвы в атмосферу, загрязнение нитратами растительной продукции являются следствием положительного баланса азота в агросистемах из-за нерационального применения удобрений [3]. Для достижения максимальной продуктивности сельскохозяйственных культур применяется дозировка удобрений, часто превышающая экономически обоснованные нормы, при которых прирост урожайности окупает затраты на удобрения [4].

С увеличением стоимости средств химизации из-за повышения цен на энергоносители на протяжении 1990-х гг. активное использование минеральных удобрений стало экономически менее выгодным. Кроме того, в этот же период установлено, что активное применение удобрений сопряжено с экологическими рисками. В развитых странах акцент сместился на достижение устойчивых урожаев при соблюдении экологически и экономически оптимальных доз удобрений, а не на получение максимальной урожайности [1].

Современные стратегии устойчивого и экологически безопасного сельского хозяйства сосредоточены на оптимизации азотного режима почвы с целью увеличения эффективности производства растений. Один из ключевых подходов состоит в разработке технологий внесения минеральных и органических удобрений, позволяющих синхронизировать период доступности азота с фазами активного его потребления растениями. Дополнительно разрабатываются биологические методы ингибирования нитрификации, предлагающие альтернативу химическим ингибиторам.

Доступные формы азота — аммонийная и нитратная — в теоретических подходах к питанию растений считаются равноценными [5]. Тем не менее, исследования показывают, что аммоний активно удерживается почвенным комплексом в почвах с высокой емкостью катионного обмена, и в жидкую фазу почвы попадает лишь незначительная его часть. Аммоний, попавший в жидкую фазу, подвергается нитрификации, вследствие чего основным источником азота для растений становятся нитраты [5]. Например, на примере овса показано, что удобрения, такие как НРК и органические, оказывают значительное влияние на урожайность растений благодаря запасам нитратов ( $N-NO_3$ ), которые накапливаются до начала всходов в слое почвы 0–40 см. Между содержанием нитратов в почве и урожайностью овса обнаружена высокая корреляция [5].

При анализе азотного режима почвы важно учитывать не только общее содержание азота в различных формах, но и продолжительность их существования в почве, а также скорость их образования и потребления [1]. Самые короткие жизненные циклы (от 1 до 10 часов) имеют растворимые органические соединения [6]. При достаточном уровне доступного углерода продолжительность

существования для  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{NO}_3^-$  составляет менее суток, а для микробной биомассы — до 11 суток. В условиях недостатка углерода этот период увеличивает-ся до трех суток для  $\text{NH}_4^+$ , до 25...136 суток для  $\text{NO}_3^-$  и до 360...425 суток для микробной биомассы.

Различные биотические и абиотические процессы оказывают влияние на подвижность азота в почве. Абиотическая мобилизация азота происходит за счет десорбции обменно-поглощенного и освобождения фиксированного  $\text{N-NH}_4^+$  при увеличении влажности почвы и концентрации катионов, а также в условиях, способствующих диспергированию глинистых частиц и органоминеральных коллоидов. В то же время адсорбция  $\text{N-NH}_4^+$ , аминокислот и амидов органическими и минеральными частицами, фиксация  $\text{N-NH}_4^+$  глинистыми минералами, удержание нитратов в микропорах и консервация простых органических соединений азота в микроагрегатах способствуют стабилизации азота на абиотическом уровне [7].

**Цель исследования** — агрохимическая оценка применения вермикулита для оптимизации питания растений азотом. Можно ожидать, что снижение подвижности аммонийного азота вермикулитом [8, 9] будет способствовать ингибированию процесса его нитрификации.

## Материалы и методы исследования

Экспериментальные исследования выполнены с использованием гранулированной мочевины и двух типов грунта. Первый представляет собой образцовую (референсную) смесь для определения хронической токсичности с низким содержанием органического вещества<sup>1</sup>. Смесь рекомендуется составлять из песка, глины и торфа при соотношении, мас. %: 70:20:10. Второй грунт — огородная почва — характеризуется высоким содержанием органического вещества. Свойства исходных грунтов приведены при описании результатов исследования.

Термовермикулит фракции 1–2 мм получен из вермикулитового концентрата Ковдорского месторождения путем обжига на электрической модульно-спусковой печи конструкции Нижегородова при температуре 550 °С [10, 11]. Материал имеет следующие характеристики: насыпная плотность 500 г/дм<sup>3</sup>, влагоудерживающая способность 100 мас. %, рН( $\text{H}_2\text{O}$ ) 9.2, рН(KCl) 7.4, обменная емкость 80...150 мг-экв/100 г.

В первой серии экспериментов (маркировка МП) часть песка заменяли вермикулитом в количестве 5 и 10 мас. % от общей массы почвосмеси (табл. 1). Мочевину вводили в виде гранул, распределяя в верхней части вегетационного сосуда на глубину 10 см. Почвосмеси в количестве 2 кг помещали в вегетационный сосуд объемом 5 л, на дно которого укладывали дренажный слой из керамзита. Условия опыта соответствуют избыточному содержанию азота, дополнительное количество которого по сравнению с содержанием в исходном грунте составило 450–1350 мг/кг при ПДК 300 мг/кг. В качестве контроля поставлен опыт без вермикулита и без добавления мочевины (МП10). Все опыты выполнены в трех повторностях.

<sup>1</sup> ИСО 22030:2005. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая токсичность высших растений.

Почвосмеси проанализированы на острую и хроническую токсичность с применением горчицы сарептской (*Brassica juncea* (L.) Czern) и овса посевного (*Avena sativa* L.) соответственно, продолжительность экспозиции 7 и 30 суток.

Таблица 1

### Состав почвосмесей в опыте с низким содержанием органического вещества

| Маркировка опытов | Количество компонентов почвосмеси, мас. % |            |       |      | Дозировка мочевины, г/кг |
|-------------------|---|------------|-------|------|--------------------------|
|                   | Песок                                     | Вермикулит | Глина | Торф |                          |
| МП10 контроль     | 70  | 0          | 20    | 10   | 0                        |
| МП1               | 70  | 0          | 20    | 10   | 1                        |
| МП2               | 70  | 0          | 20    | 10   | 2                        |
| МП3               | 70  | 0          | 20    | 10   | 3                        |
| МП4               | 65  | 5          | 20    | 10   | 1                        |
| МП5               | 65  | 5          | 20    | 10   | 2                        |
| МП6               | 65  | 5          | 20    | 10   | 3                        |
| МП7               | 60  | 10         | 20    | 10   | 1                        |
| МП8               | 60  | 10         | 20    | 10   | 2                        |
| МП9               | 60  | 10         | 20    | 10   | 3                        |

Источник: выполнено И.П. Кременецкой, М.В. Слуковской.

Во второй серии экспериментов (маркировка МО) в качестве тест-культуры использовали огурец обыкновенный (*Cucumis sativus* L.), семена которого предварительно проращивали. Перед внесением в грунт вермикулит обогащали минеральным азотом путем внесения раствора мочевины с разной концентрацией (3, 6 и 9 г N/л) для достижения количества внесенного в почву азота 200, 400 и 600 мг N/кг. Затем вермикулит перемешивали с почвой. Такой способ облегчает процесс равномерного распределения удобрения в объеме почвосмеси. В контрольных опытах (без вермикулита) раствор мочевины вносили в почву и также тщательно перемешивали. Опыт выполнен в трех повторностях (опыт без вермикулита и с содержанием добавленного азота 200 мг N/кг — в девяти повторностях).

По окончании опытов в почвосмесях определяли содержание водорастворимых нитратов и обменного аммония (раствор KCl с концентрацией 1 моль/л<sup>2</sup>) при соотношении материала и воды 1:5, в солевой вытяжке при 1:2,5. Раствор от материала отделяли методом центрифугирования при скоростном режиме 4000 об/мин в течение 30 минут. Метод определения является визуально-калориметрическим, аналогичным методу по ГОСТ 26488–85<sup>3</sup>. Биохимические показатели растений овса определены с помощью листового спектрометра CI-710s (SpectraVue).

<sup>2</sup> ГОСТ 26483–85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО.

<sup>3</sup> ГОСТ 26488–85. Почвы. Определение нитратов по методу ЦИНАО.

## Результаты исследования и обсуждение

В первой серии МП исследовано влияние вермикулита на распределение азота по формам нахождения в почвогрунте с низким содержанием органической части (10 мас.%). Контрольная почвосмесь характеризуется крайне низким содержанием подвижных форм азота, нитратный азот отсутствует, а содержание  $N(NH_4^+)$  составляет 2 мг N/кг (табл. 2). В опытных вариантах содержание обменного  $NH_4^+$  увеличивается по мере увеличения дозы мочевины, в то время как содержание  $NO_3^-$  изменяется в узком диапазоне от 35 до 40 мг N/кг (табл. 2). Добавление вермикулита кардинально, в несколько раз, снижает содержание обменного аммония в почвосмесях.

Таблица 2

Содержание азота и показатели токсичности почвосмесей

| Маркировка опытов | Содержание азота N, мг/кг |             |             | Всхожесть горчицы | Длина (овес), см |        |
|-------------------|---------------------------|-------------|-------------|-------------------|------------------|--------|
|                   | Внесено с мочевиной       | $N(NH_4^+)$ | $N(NO_3^-)$ |                   | Растение         | Корень |
| МП10 контроль     | 0                         | 2           | 0           | 100               | 28,5             | 7,6    |
| МП1               | 450                       | 10          | 35          | 50                | 33,9             | 4,9    |
| МП2               | 900                       | 20–60       | 35          | 2                 | 32,7             | 4,2    |
| МП3               | 1350                      | 200         | 35          | 0                 | 34,3             | 3,6    |
| МП4               | 450                       | 5           | 35          | 70                | 37,1             | 5,9    |
| МП5               | 900                       | 15          | 35          | 5                 | 35,2             | 6,1    |
| МП6               | 1350                      | 50          | 35          | 2                 | 26,2             | 4,0    |
| МП7               | 450                       | 3           | 35          | 100               | 35,9             | 6,6    |
| МП8               | 900                       | 5           | 40          | 20                | 34,5             | 6,5    |
| МП9               | 1350                      | 10          | 40          | 10                | 25,1             | 4,6    |

Источник: выполнено И.А. Мосендз, Т.К. Ивановой.

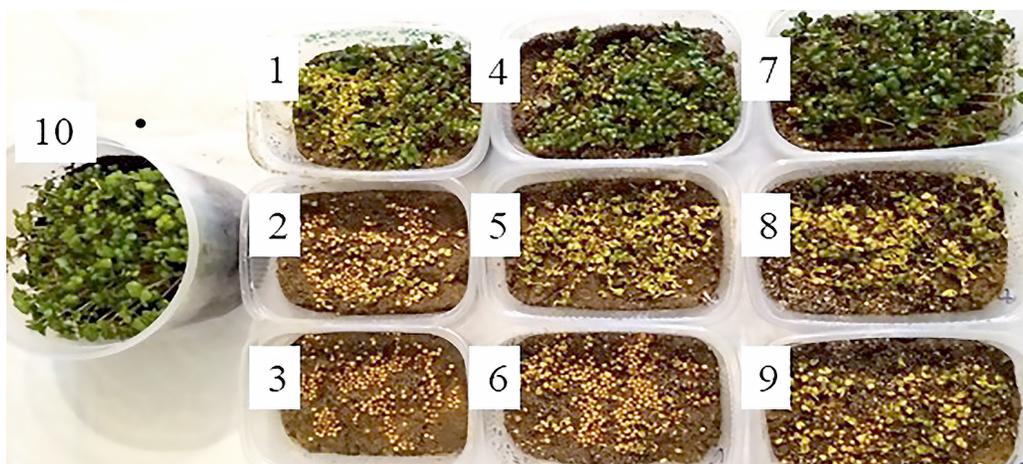
Острая токсичность почвосмесей тем больше, чем больше в них обменного аммония. Синхронно со снижением обменного аммония снижается острая токсичность почвосмесей (табл. 2, рис. 1). Данное наблюдение свидетельствует о токсическом воздействии обменной формы аммония.

Овес (тест-культура для определения хронической токсичности) характеризуется высокой пластичностью, т.е. способен адаптироваться к неблагоприятным условиям в широком диапазоне воздействия стрессового фактора [12].

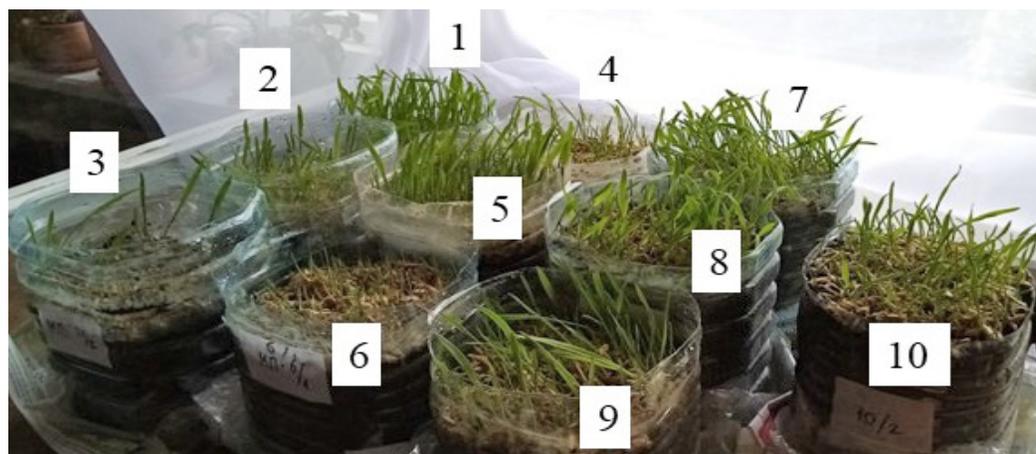
Одним из ранних признаков повреждающего действия неблагоприятных факторов на растения является торможение ростовых процессов, что наблюдалось в первые несколько дней прорастания семян (рис. 2).

По окончании опыта продолжительностью 30 суток биометрические показатели растений выровнялись и статистически значимо не отличались по вариантам эксперимента (средние значения длины растения и корня показано в табл. 2).

Можно лишь отметить тот факт, что в контрольном опыте длина корня заметно больше по сравнению с экспериментальными вариантами. В экспериментальных вариантах корни располагались преимущественно на поверхности субстрата, проникая вглубь на незначительную глубину. Данное наблюдение подтверждает токсичность субстратов, наиболее выраженную, судя по длине корней, в вариантах с наибольшей дозой мочевины (МП 3, 6, 9).



**Рис. 1.** Внешний вид проростков горчицы: цифрами обозначены номера вариантов  
*Источник:* выполнено И.А. Мосендз, Т.К. Ивановой.



**Рис. 2.** Внешний вид проростков овса: цифрами обозначены номера вариантов  
*Источник:* выполнено И.А. Мосендз, Т.К. Ивановой.

По биохимическим показателям растений статистически значимых различий между вариантами опыта не обнаружено (табл. 3). Значения индекса SPAD (показатель концентрации листового хлорофилла) в опытах МП 4–6 несколько выше по сравнению с контролем и другими экспериментальными вариантами. У рас-

тений в тех же опытах более высокие значения показателя SIPI — структурного индекса интенсивности пигментов, который хорошо согласуется с эффективностью усвоения углерода и активностью роста, а также тесно связан с поглощением фотосинтетически активной радиации.

Каротиноиды (CRI1) выполняют функции поглощения света растениями, а также указывают на наличие ослабленных растений (содержат большее количество каротиноидов). Данный показатель не изменяется по вариантам эксперимента, что подтверждает высокую адаптивность использованной тест-культуры (овес посевной). Универсальный индикатор наличия зеленой здоровой растительности (CNDVI) — показатель количества фотосинтетически активной биомассы, чем больше зеленая фитомасса, тем выше индекс. Для данного индекса (как и для SPAD) наблюдаются более высокие значения в опытах МП 4–6. На основании биохимических показателей можно предположить, что содержание вермикулита 5 мас.% соответствует наиболее благоприятным условиям произрастания растений.

Таблица 3

### Биохимические показатели растений (*Cucumis sativus* L.)

| Маркировка опыта | Биохимические показатели растений |           |       |           |       |           |       |           |
|------------------|-----------------------------------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|
|                  | SPAD                              |           | SIPI  |           | CRI1  |           | CNDVI |           |
|                  | сред.*                            | дов. инт. | сред. | дов. инт. | сред. | дов. инт. | сред. | дов. инт. |
| МП10             | 14,6                              | 7,9       | 0,65  | 0,12      | 0,036 | 0,019     | 0,26  | 0,15      |
| МП1              | 15,2                              | 2,9       | 0,60  | 0,06      | 0,030 | 0,008     | 0,25  | 0,05      |
| МП2              | 16,8                              | 7,2       | 0,63  | 0,08      | 0,034 | 0,012     | 0,27  | 0,11      |
| МП3              | 22,2                              | 9,2       | 0,63  | 0,05      | 0,032 | 0,009     | 0,28  | 0,06      |
| МП4              | 25,2                              | 10,9      | 0,65  | 0,03      | 0,034 | 0,007     | 0,27  | 0,05      |
| МП5              | 23,0                              | 4,4       | 0,69  | 0,03      | 0,043 | 0,009     | 0,33  | 0,03      |
| МП6              | 22,7                              | 6,6       | 0,99  | 0,01      | 0,047 | 0,014     | 0,34  | 0,05      |
| МП7              | 16,9                              | 2,5       | 0,64  | 0,02      | 0,037 | 0,007     | 0,27  | 0,04      |
| МП8              | 25,6                              | 33,5      | 0,67  | 0,12      | 0,039 | 0,007     | 0,32  | 0,13      |
| МП9              | 19,9                              | 8,6       | 0,69  | 0,16      | 0,043 | 0,051     | 0,27  | 0,09      |

Примечание. \*сред. — среднее значение, дов. инт. — доверительный интервал.

Источник: выполнено И.А. Мосендз, М.В. Слукowsкой.

Во второй серии эксперимента исследовано влияние вермикулита на содержание форм азота при высоком содержании органического компонента в почвосмеси (табл. 4). В опыте без добавления вермикулита избыток минерального азота

оказывает токсическое действие на тест-культуру (огурец), количество погибших растений составляет 1–2 экземпляра в опытах с трехкратной повторностью. В вариантах с вермикулитом при тех же количествах добавленного в составе мочевины азота наблюдается 100% выживаемость растений. По количеству листьев более высокие показатели зафиксированы в серии с добавлением 10 % вермикулита, а по количеству плодов — в серии с 5 % вермикулита. В этой же серии больше бутонов и цветов.

Таблица 4

## Схема и результаты эксперимента с высоким содержанием азота

| Маркировка | Содержание вермикулита, мас. % | Количество добавл. азота, мг N/кг | Содержание N, мг/кг          |                              |         | Растения, выжившие / всего | Количество на одно растение |        |       |       |
|------------|--------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------|----------------------------|-----------------------------|--------|-------|-------|
|            |                                |                                   | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Сумма N |                            | Листья                      | Бутоны | Цветы | Плоды |
| ПО 1       | 0                              | 0                                 | 20                           | 55                           | 75      | 2/3                        | 10                          | 6      | 3     | 0,5   |
| ПО 2       | 0                              | 200                               | 20                           | 55                           | 75      | 3/9                        | 9                           | 6      | 3     | 1,3   |
| ПО 3       | 0                              | 400                               | 40                           | 45                           | 85      | 1/3                        | 11                          | 11     | 1     | 0     |
| ПО 4       | 0                              | 600                               | 30                           | 50                           | 80      | 2/3                        | 7                           | 0,5    | 1,5   | 0,5   |
| ПО 7       | 5                              | 0                                 | 20                           | 55                           | 75      | 3/3                        | 10                          | 5      | 3     | 1,3   |
| ПО 8       | 5                              | 200                               | 10                           | 55                           | 65      | 3/3                        | 11                          | 4      | 3,3   | 1     |
| ПО 9       | 5                              | 400                               | 15                           | 45                           | 60      | 3/3                        | 11,3                        | 5,6    | 2,3   | 2,3   |
| ПО 10      | 5                              | 600                               | 30                           | 45                           | 75      | 3/3                        | 11                          | 7      | 2     | 1,6   |
| ПО 11      | 10                             | 0                                 | 40                           | 45                           | 85      | 3/3                        | 8,6                         | 2,6    | 1,6   | 0     |
| ПО 12      | 10                             | 200                               | 30                           | 45                           | 75      | 3/3                        | 8,6                         | 3,3    | 1,3   | 0     |
| ПО 13      | 10                             | 400                               | 30                           | 45                           | 75      | 3/3                        | 13,3                        | 7,3    | 3,3   | 1,3   |

Источник: выполнено М.А. Ярцевой, Л.А. Ивановой.

В вариантах с 5 % вермикулита наблюдается тенденция снижения содержания обменного азота относительно первой и третьей серий (без вермикулита и с 10 % вермикулита), снижается и токсичность почвосмесей. Содержание нитратного азота изменяется в узком интервале 45...55 мг N/кг, его концентрация в этом диапазоне не оказывает негативного влияния на растительные организмы. По суммарному содержанию подвижных форм азота отличие вариантов наиболее выражено: в опытах с 5% содержанием вермикулита N составляет не более 75 мг N/кг, а в двух других вариантах значение этого показателя не менее 75 мг N/кг.

Мочевина (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO является наиболее концентрированным по азоту удобрением. В водной среде происходит гидролиз мочевины с образованием аммония, который на следующей стадии окисляется до нитрат-иона. Обе формы азота (аммонийный и нитратный) могут использоваться растениями в качестве источников питания. Вермикулит способен оказать влияние на скорость протекания процесса нитрификации аммония в результате проявления ионообменных свойств.

Выполненные эксперименты с высокой дозой внесения мочевины показали, что вермикулит снижает содержание обменного аммония в почвосмесях. Как показали результаты опыта с образцовой почвосмесью, снижение содержания обменного азота является результатом увеличения доли фиксированного (необменного) азота, а не следствием выноса азота с биомассой, поскольку биометрические показатели растений по вариантам эксперимента отличались незначительно.

Согласно [13], фиксация азота происходит при достижении порога концентрации аммония в растворе, выше которой часть ионов аммония закрепляется в решетке минерала. В серии с содержанием вермикулита 5 % при одинаковой концентрации аммония в растворе вероятность достижения такого порога увеличивается по сравнению с вариантами с 10 % вермикулита.

Обеспеченность почв азотом определяется преимущественно содержанием нитратного азота в доступной форме [14]. Узкий диапазон изменения содержания подвижного  $\text{NO}_3^-$  в почве как в первой серии экспериментов при низком содержании органического компонента (35...40 мг N/кг), так и во второй серии с высоким содержанием органики (45...55 мг N/кг) свидетельствует о том, что аммоний, фиксированный вермикулитом, обладает способностью постепенно окисляться с образованием нитратов, которые поступают в почвенный раствор и являются источником питания растений. По обеспеченности азотом почвосмеси с вермикулитом относятся к среднему уровню (30...50 мг N/кг [15]). Фиксированный аммоний медленнее по сравнению с обменной формой высвобождается в почвенный раствор, способствуя синхронизации процессов потребления азота растениями с наличием элементов питания в почве.

## Заключение

Положительное влияние добавления вермикулита в состав почвосмесей выявлено в экспериментах, которые отличаются концентрацией азота, способом внесения удобрения, содержанием органического компонента в исходной почве. Показано, что высокое содержание обменного аммонийного азота оказывает токсическое действие на растения. Содержание нитратного азота во всех экспериментах изменялось в узком интервале значений, не влияя на токсичность почвы. Наиболее благоприятные почвенные условия создаются при внесении вермикулита в количестве 5 мас.% благодаря увеличению доли фиксированного аммония, который превращается в нитратную форму медленнее по сравнению с обменным аммонием.

## Список литературы

1. Семенов В.М. Современные проблемы и перспективы агрохимии азота // Проблемы агрохимии и экологии. 2008. № 1. С. 55–63. EDN: JXDATP
2. Башкин В.Н. Экологические риски применения азотных удобрений // Проблемы анализа риска. 2022. Т. 19. № 2. С. 40–53. doi: 10.32686/1812-5220-2022-19-2-40-53 EDN: JNDAFM
3. Бузетти К.Д., Иванов М.В. Воздействие минеральных и органических удобрений на экосистему, качество сельскохозяйственной продукции и здоровье человека // Аграрная наука. 2020. № 5. С. 80–84. doi: 10.32634/0869-8155-2020-338-5-80-84 EDN: DQLGFZ

4. *Sharma L.K., Bali S.K.* A Review of Methods to Improve Nitrogen Use Efficiency in Agriculture // Sustainability. 2018. Vol. 10. № 1. P. 51. <https://doi.org/10.3390/su10010051>
5. *Окорков В.В., Окоркова Л.А., Шукина В.И.* Формирование урожая овса в зависимости от режима азотного питания растений на серых лесных почвах Владимирского ополья // Проблемы агрохимии и экологии. 2023. № 3. С. 4–16. doi: 10.26178/AE.2023.76.40.002 EDN: AYRCYI
6. *van Hees P.A.W., Jones D.L., Finlay R., Godbold D.L., Lundström U.S.* The carbon we do not see — the impact of low molecular weight compounds on carbon dynamics and respiration in forest soils: a review // Soil Biology and Biochemistry. 2005. Vol. 37. № 1. P. 1–13. doi: 10.1016/j.soilbio.2004.06.010
7. *Liao J.D., Boutton T.W., Jastrow J.D.* Storage and dynamics of carbon and nitrogen in soil physical fractions following woody plant invasion of grassland // Soil Biology and Biochemistry. 2006. Vol. 38. № 11. P. 3184–3196. doi: 10.1016/j.soilbio.2006.04.003
8. *Mazloomi F., Jalali M.* Effects of vermiculite, nanoclay and zeolite on ammonium transport through saturated sandy loam soil: column experiments and modeling approaches // Catena. 2019. Vol. 176. P. 170–180. doi: 10.1016/j.catena.2019.01.014 EDN: XZOOPI
9. *Иванова Т.К., Мосендз И.А., Кременецкая И.П., Слуковская М.В., Максимова В.В., Красавцева Е.А.* Получение азотсодержащих удобрений на основе серпентиновых минералов // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2023. № 20. С. 563–569. doi: 10.31241/FNS.2023.20.070 EDN: BNAUGR
10. *Нижегородов А.И.* Электрические модульно-спусковые печи с системой рекуперации энергии для обжига вермикулитовых концентратов // Новые огнеупоры. 2015. № 10. С. 22–27. doi: 10.17073/1683-4518-2015-10-22-27
11. *Звездин А.В., Нижегородов А.И.* Оценка энергоэффективности подвесной нагревательной системы электрической печи для тепловой обработки сыпучих материалов // Вестник ИрГТУ. 2019. Т. 23. № 1. С. 41–53. doi: 10.21285/1814-3520-2019-1-41-53 EDN: VVBEDE
12. *Солдатова В.Ю., Шадрин Е.Г., Карпова С.Д.* Биотестирование фитотоксичности почвогрунтов г. Якутска с использованием тест-объекта овса посевного *Avena sativa* L. // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2018. Т. 24. № 2. С. 76–86. doi: 10.31242/2618-9712-2018-24-2-76-86 EDN: PREGEK
13. *Тырина Н.С.* Исследование механизма и параметров сорбции аммония на юрских глинистых породах Московского региона // Геоэкология. Инженерия геология. Гидрогеология. Геокриология. 2009. № 2. С. 136–142. EDN: JWNQBN
14. *Гамзиков Г.П.* Прогноз обеспеченности почв азотом и потребности полевых культур в азотных удобрениях // Инновации и продовольственная безопасность. 2015. № 3 (9). С. 11–20. EDN: VVCCXF
15. *Гамзиков Г.П.* Принципы почвенной диагностики азотного питания полевых культур и применения азотных удобрений // Совершенствование методов почвенно-растительной диагностики азотного питания растений и технологий применения удобрений на их основе. М. : ВНИПТИХИМ, 2000. С. 33–55.

#### Об авторах:

*Кременецкая Ирина Петровна* — старший научный сотрудник, Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева — обособленное подразделение федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр» Российской академии наук, Российская Федерация, 184209, г. Апатиты, мкрн. Академгородок, д. 26 а; e-mail: i.kremenetskaia@ksc.ru

ORCID: 0000-0003-3531-8273 SPIN-код: 7227-0180

*Слуковская Марина Вячеславовна* — старший научный сотрудник, лаборатория природоподобных технологий и техносферной безопасности Арктики, ФИЦ Кольский научный центр РАН, Российская Федерация, 184209, г. Апатиты, ул. Ферсмана, д. 14; Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева — обособленное подразделение федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр» Российской академии наук, Российская Федерация, 184209, г. Апатиты, мкрн. Академгородок, д. 26 а; e-mail: m.slukovskaya@ksc.ru

ORCID: 0000-0002-5406-5569 SPIN-код: 8540-8055

*Иванова Любовь Андреевна* — главный научный сотрудник, лаборатория декоративного цветоводства и озеленения, Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», Российская

Федерация, 184209, г. Апатиты, мкрн. Академгородок, д. 18 а; ведущий научный сотрудник, Институт проблем промышленной экологии Севера, Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук», Российская Федерация, 184209, г. Апатиты, мкрн. Академгородок, д. 18 а; e-mail: ivanova\_la@inbox.ru

ORCID: 0000-0002-7994-5431 SPIN-код: 5752-3648

*Ярцева Мария Александровна* — аспирант, ведущий инженер, лаборатория интродукции и акклиматизации растений, Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина — обособленное подразделение федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр» Российской академии наук, Российская Федерация, 184209, г. Апатиты, мкрн. Академгородок, д. 18 а; e-mail: 468975@mail.ru

ORCID: 0000-0001-7560-6339 SPIN-код: 9820-0196

*Иванова Татьяна Константиновна* — младший научный сотрудник, лаборатория природоподобных технологий и техносферной безопасности Арктики, ФИЦ Кольский научный центр РАН, Российская Федерация, 184209, г. Апатиты, ул. Ферсмана, д. 14; Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева — обособленное подразделение федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр» Российской академии наук, Российская Федерация, 184209, г. Апатиты, мкрн. Академгородок, д. 26 а; e-mail: tk.ivanova@ksc.ru

ORCID: 0000-0002-8103-2279 SPIN-код: 8752-2850



## Ветеринария Veterinary science

DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-618-634

EDN CDLWKU

УДК 619:636.2: 616–07:637.12.04/07:618.19-002

*Научная статья / Research article*

### Применение разных методов исследования секрета молочной железы коров при диагностике мастита

М.Н. Исакова  , Н.А. Безбородова ,  
Я.Ю. Лысова , О.Ю. Опарина 

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения  
Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация  
 Tmarya105@yandex.ru

**Аннотация.** Приведены данные анализа применения разных методов исследования секрета молочной железы (СМЖ) коров при диагностике мастита. Исследования проводили в течение 2023 г. Объект исследования — лактирующие коровы и СМЖ. Уровень мастита у коров от общего количества обследованных животных при первом исследовании составил 36,6 %, при повторном — количество животных со скрытым воспалением в молочной железе увеличилось на 3,4 %. При первом исследовании у 63,3 % коров молоко по уровню соматических клеток (СК) соответствовало высшему сорту (до 250 тыс./мл), у 8,3 % коров, имеющих клиническое воспаление в молочной железе, установили СК свыше 750 тыс./мл. Минимальное значение лактоферрина в СМЖ на момент первого исследования составило 0,25 мг/мл, а максимальное — 3,5 мг/мл. Средний уровень лактоферрина в молоке составил 1,62 мг/мл. При проведении второго исследования наблюдали увеличение минимального и максимального значения содержания лактоферрина в СМЖ до 0,69 и 4,1 мг/мл соответственно. На момент первого исследования максимальное отклонение от референтных значений показателя мочевины в СМЖ составило  $35,15 \pm 0,45$  мг/100 мл, минимальное —  $14,18 \pm 0,18$  мг/100 мл. При первом исследовании количество коров с отклонением от референтных значений в сторону уменьшения или увеличения показателя мочевины составило 38,3 %, через 7 дней — 46,7 %. Из СМЖ выделили следующие микроорганизмы: бактерии группы кишечной палочки (38,9 %), *Staphylococcus aureus* (38,9 %), *Enterococcus faecalis* (22,2 %) при использовании культурального

© Исакова М.Н., Безбородова Н.А., Лысова Я.Ю., Опарина О.Ю., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

метода исследования; при ПЦР-исследовании *Staphylococcus spp.* (55,6 %), *Staphylococcus aureus* (22,2 %), *Escherichia coli* (22,2 %). Повторное исследование ПЦР-методом показало наличие *Pseudomonas aeruginosa* в 46,2 % проб; методом MALDI-TOF — *Streptococcus dysgalactiae* — в 36,4, *Staphylococcus epidermidis* — 18,2, *Aerococcus viridans* — 18,2, *S. aureus* — 9,1, *Staphylococcus haemolyticus* — 9,1, *Corynebacterium pseudotuberculosis* — 9,1 % проб; также установили изменения в соотношении выделенных бактерий. Определение чувствительности к антибиотикам с помощью диско-диффузионного метода позволило установить резистентность у единично выделенных изолятов *C. pseudotuberculosis* к бензилпенициллину, *S. dysgalactiae* — тетрациклину, *S. aureus* — бензилпенициллину, амоксициллину. При проведении второго исследования у 2,2 % выявленных изолятов *P. aeruginosa* обнаружены гены *blaVIM* и *blaNDM*, отвечающие за устойчивость к карбапенемам.

**Ключевые слова:** лактирующие коровы, молоко, воспаление, диагностика, соматические клетки, мочевины, лактоферрин, культуральный метод, ПЦР-исследование, масс-спектрометрия

**Вклад авторов:** Исакова М.Н. — концепция и дизайн исследования, отбор биологического материала, анализ полученных данных, написание текста; Безбородова Н.А. — отбор биологического материала, проведение ПЦР-исследований, написание текста; Лысова Я.Ю. — проведение микробиологических исследований, анализ полученных данных; Опарина О.Ю. — постановка ИФА на лактоферрин, анализ полученных данных. Все авторы ознакомились с окончательной версией рукописи и одобрили ее.

**Финансирование.** Исследования проведены в рамках государственного задания Минобрнауки России по теме 0532–2021–0009 «Разработка биологических технологий управления здоровьем животных и прижизненного формирования качества продукции животноводства и птицеводства».

**Заявления о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**История статьи:** поступила в редакцию 31 июля 2025 г., принята к публикации 5 сентября 2025 г.

**Для цитирования:** Исакова М.Н., Безбородова Н.А., Лысова Я.Ю., Опарина О.Ю. Применение разных методов исследования секрета молочной железы коров при диагностике мастита // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025. Т. 20. № 4. С. 618–634. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-618-634 EDN: CDLWKU

## Application of various methods for studying the secretion of the bovine mammary gland in the diagnosis of mastitis

Maria N. Isakova  , Natalya A. Bezborodova ,  
Yana Y. Lysova , Olga Y. Oparina 

Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy  
of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation  
 Tmarya105@yandex.ru

**Abstract.** The study presents data on the analysis of the application of various methods for examining mammary gland secretions in cows for the diagnosis of mastitis. The studies were conducted during 2023. The object of the study was lactating cows and the secretion of their mammary gland. The prevalence of mastitis in cows during the study was 36.6%; during the repeated examination, the number of animals with latent inflammation of the mammary gland increased by 3.4%. At the time of the first examination, 63.3% of cows had milk of the highest grade in terms of somatic cell (SC) count (up to 250 thousand cells/ml). In 8.3% of cows with clinical mastitis, an increase in SC count over 750 thousand cells/ml was recorded. The minimum lactoferrin

concentration in mammary gland secretions during the first examination was 0.25 mg/ml, and the maximum was 3.5 mg/ml; the mean value was 1.62 mg/ml. During the second examination, an increase in both the minimum and maximum lactoferrin concentrations was observed, reaching 0.69 mg/ml and 4.1 mg/ml, respectively. At the time of the initial study, the maximum deviation of urea concentration from reference values in the mammary gland secretion of cows was  $35.15 \pm 0.45$  mg/100 ml, and the minimum was  $14.18 \pm 0.18$  mg/100 ml. During the repeated examination, the proportion of cows showing deviations from reference urea values (either decreased or increased) was 38.3%, and 46.7% after 7 days. Microbiological analysis of mammary gland secretions revealed the following microorganisms: coliform bacteria (38.9%), *Staphylococcus aureus* (38.9%), *Enterococcus faecalis* (22.2%), using the cultural research method; taphylococcus spp. (55.6%), *S. aureus* (22.2%), and *Escherichia coli* (22.2%) using PCR, with repeated testing showing the presence of *Pseudomonas aeruginosa* in 46.2% of samples; and *Streptococcus dysgalactiae* (36.4%), *Staphylococcus epidermidis* (18.2%), *Aerococcus viridans* (18.2%), *S. aureus* (9.1%), *Staphylococcus haemolyticus* (9.1%) and *Corynebacterium pseudotuberculosis* (9.1%) using the MALDI-TOF method. Repeated examination using these methods revealed an increase in microbial species diversity and changes in the proportions of isolated bacteria. Antibiotic susceptibility testing using the disk diffusion method revealed resistance in individual isolates of *C. pseudotuberculosis* to benzylpenicillin, *S. dysgalactiae* to tetracycline, *S. aureus* to benzylpenicillin and amoxicillin. During the repeated study, 2.2% of the identified isolates of *P.aeruginosa* were found to carry the *blaVIM* and *blaNDM* genes associated with carbapenem resistance.

**Key words:** lactating cows, milk, mastitis, diagnostics, somatic cells, urea, lactoferrin, culture method, PCR testing, mass spectrometry

**Authors' contribution:** Isakova M.N. — study concept and design, collection of biological material, data analysis, writing the manuscript; Bezborodova N.A. — collection of biological material, PCR testing, writing the manuscript; Lysova Ya.Yu. — microbiological testing, data analysis; Oparina O. Yu. — lactoferrin ELISA, data analysis.

**Funding.** The research was conducted within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of Russia on topic 0532–2021–0009 “Development of biological technologies for animal health management and intravital formation of the quality of livestock and poultry products”. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interest.

**Article history:** received 31 July 2025; accepted 5 September 2025.

**For citation:** Isakova MN, Bezborodova NA, Lysova YaYu, Oparina OYu. Application of various methods for studying the secretion of the bovine mammary gland in the diagnosis of mastitis. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(4):618–634. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-618-634 EDN: CDLWKU

## Введение

Мастит — воспалительная реакция тканей молочной железы у коров в ответ на механические, химические и биологические воздействия, которые обычно проявляются в сочетании с предрасполагающими к заболеванию факторами, например наличием у животных анатомических и функциональных аномалий молочной железы, наследственной предрасположенностью к маститу, нарушением иммунного статуса, наличием воспалительных заболеваний репродуктивных органов и др. [1–4]. Независимо от первопричины, вызывающей воспалительный процесс в молочной железе коров, мастит всегда протекает при активном участии микрофлоры [5, 6], проникновение которой чаще всего происходит лактогенным путем. Токсины, выделяемые микроорганизмами,

повреждают железистую ткань и протоки молочной железы. Молоко от коров, страдающих маститом, может представлять опасность для здоровья человека и молодняка крупного рогатого скота за счет наличия токсинов, повышенного содержания соматических клеток (СК) и бактериальной обсемененности, а также присутствия остатков антимикробных препаратов, используемых в терапии мастита [7]. В связи с этим более точная и ранняя диагностика мастита является актуальным мероприятием в ветеринарной практике. Наибольшую проблему для молочного животноводства составляет субклинический мастит, при котором регистрируют скрыто протекающее воспаление без проявления клинических признаков, однако происходит разрушение эпителиальных клеток альвеол вымени, непосредственно участвующих в образовании молока. За счет рецепторов лактоциты высвобождают из кровеносных сосудов, окружающих альвеолу, питательные вещества и превращают их в молочный белок, лактозу и жир, в результате при воспалительном процессе в молочной железе наблюдается не только снижение продуктивности, но и снижение качества получаемого молока. Секрет молочной железы (СМЖ) коров — ценный биологический материал для применения различных диагностических методов [8, 9]. В диагностике мастита наряду с традиционными исследованиями СМЖ, включающими подсчет СК и культивирование микроорганизмов, все чаще используются дополнительные методы, позволяющие определить мочевины, лактоферрин, белки острой фазы, в частности амилоид А в молоке коров [10–15]. Определение вышеперечисленных показателей в секрете вымени дает возможность на более ранних стадиях заподозрить наличие воспаления в молочной железе, что позволяет установить более тщательный контроль за данными животными, усилить профилактические и лечебные мероприятия, направленные на предотвращение мастита, тем самым минимизировать экономический ущерб.

**Цель исследования** — провести комплексное исследование СМЖ коров с применением экспресс и лабораторных методов и установить их роль в диагностике мастита. Поставлены следующие задачи: провести клиническую и экспресс-диагностику форм мастита; определить такие показатели СМЖ, как СК, мочевины, лактоферрин; провести исследования разными методами с целью определения наличия или отсутствия в пробах СМЖ микроорганизмов, способных вызывать мастит; определить гены резистентности к гликопептидам, цефалоспорином, карбопенемам,  $\beta$ -лактамам; установить наличие или отсутствие остаточных количеств антибиотиков  $\beta$ -лактаманной и тетрациклиновой групп.

## Материалы и методы исследования

Работу проводили в течение 2023 г. в отделе репродуктивной биологии и неонатологии и лаборатории микробиологических и молекулярно-генетических методов исследования Уральского НИВИ — структурного подразделения ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН.

**Объект исследования** — лактирующие коровы, СМЖ коров.

*Схема эксперимента.* Мастит диагностировали в соответствии с Наставлением по диагностике терапии и профилактике мастита у коров<sup>1</sup>. Клиническую форму мастита устанавливали с помощью клинического обследования молочной железы. Для диагностики субклинической формы мастита использовали экспресс-тест «Кенотест» (CID LINES, Бельгия). Всего на мастит исследовали 60 животных, содержащихся в сельскохозяйственной организации Свердловской области. Исследования проводили двухкратно с интервалом в 7 дней. Также от коров во время утреннего доения отбирали СМЖ. Отбор проб СМЖ осуществляли в одноразовых перчатках, непосредственно перед взятием молока соски вымени коровы и руки протирали ватным тампоном, смоченным 76 % этиловым спиртом. Сбор образцов начинали с ближних сосков молочной железы. Первые струйки СМЖ сдаивали в контрольную кружку. Затем надаивали 20...30 мл альвеолярного молока в заранее промаркированные контейнеры, при этом отслеживали, чтобы сосок не касался стенок контейнера. Отобранный материал помещали в термос со льдом и в течение 2–3 ч доставляли в лабораторию для микробиологических и ПЦР-исследований, определения количества СК, лактоферрина. Определение мочевины в СМЖ проводили во время доения коров параллельно с отбором проб для лабораторных исследований, для этого во второй контейнер отбирали около 10...15 мл молока и полностью погружали тест-полоску с нанесенным реагентом на 90 секунд до окрашивания, затем вынимали полоску и удаляли избыток молока бумажной салфеткой. После этого сравнивали цвет полоски с цветовой шкалой. Результаты фиксировали на бумажный носитель. По окончании доения животных отбирали пробу сборного молока для исследования на наличие остаточных веществ.

*Оборудование и технические средства.* Количество СК определяли на анализаторе молока вискозиметрического «Соматос-Мини» (Костип, Россия) с добавлением расходного материала препарата Мастоприм (Сибагроприбор, Россия).

Концентрацию лактоферрина определяли с помощью набора ИФА Elisa kit for the quantitative determination of Bovine lactoferrin (Bio-X Diagnostics, Бельгия).

Для экспресс-диагностики уровня мочевины в молоке использовали тест-полоски (Vet-MUN; Teco Diagnostics, США).

Наличие остаточных веществ в СМЖ устанавливали с помощью экспресс-теста Delvotest BLF для определения остаточных количеств антибиотиков  $\beta$ -лактамной группы (пенициллины, цефалоспорины) (DSM Food Specialties, Нидерланды) и Delvotest SP-NT для определения  $\beta$ -лактамной и тетрациклиновой группы (DSM Food Specialties, Нидерланды).

Бактериологическое и микологическое исследование СМЖ: из проб делали посеvy на жидкие и плотные агаризованные питательные среды: мясо-пептонный бульон (МПБ), бульон для выделения стрептококков, Энтерококкагар, среду Эндо, среду № 10, среду Чапека, среду Сабуро, Висмут-сульфит агар, Цетримидный агар, среду Левина, среду Плоскирева (ФБУН ГНЦ ПМБ, Россия), 5 % агар с кровью

<sup>1</sup> Семиволос А.М., Авдеенко В.С., Гавриш В.Г. Рекомендации по диагностике, терапии и профилактике маститов у коров. Саратов : Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2009. 71 с. EDN: WCWMFV

барана (основа Колумбийский агар, Bio-Rad, Франция); кровь барана дефибринированная (E&O Laboratories, пр-во Шотландия), желточно-солевой агар (питательный агар для культивирования микроорганизмов ГРМ-агар, ФБУН ГНЦ ПМБ, Россия), хромогенный агар (UriSelect 4, Bio-Rad, Франция) и агар Сабуро с 2% глюкозой и хлорамфениколом (SIFIN diagnostics, Германия). Идентификацию выделенных изолятов проводили путем посева на среды Гисса с сахарами («пестрый ряд»), руководствуясь определителем бактерий Берджи и определителем патогенных и условно-патогенных грибов, с использованием метода MALDI-TOF масс-спектрометрии (время пролетная матрично-ассоциированная лазерная десорбционная ионизационная масс-спектрометрия) на приборе Vitek MS (BioMérieux, Франция) (60 проб). Чувствительность к антибиотикам определяли диско-диффузионным методом по стандартной методике, описанной EUCAST, а также с использованием инструкций к тест-системам. Критерии для интерпретации категорий чувствительности по EUCAST: Clinical breakpoints — bacteria (v 13.0).

Исследование СМЖ также проводили в режиме реального времени методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) на приборе Rotor Gene-3000 (Corbett Research, Австралия) с использованием комплекта реагентов тест-систем «ВЕТ-СКРИН. Стрептопол-В», «ВЕТСКРИН. Стафипол», «ВЕТСКРИН. Колипол», «ВЕТСКРИН. Стрептопол» (IDS-LAB, Москва). Также использовали наборы реагентов для выявления ДНК *E.faecalis/faecium* и типирования VanA/VanB генов резистентности к гликопептидам, ДНК *E. coli* blaSTX-M и blaOXA-10 генов резистентности к цефалоспорином, ДНК *Pseudomonas aeruginosa* с определением генов устойчивости к карбопенемам (гены blaVIM и blaNDM); выявления и дифференциации ДНК *Staphylococcus aureus* и *Staphylococcus spp.* и MecA гена резистентности к бета-лактамам, ДНК *Enterobacter spp.* и blaGes генов резистентности к карбопенемам и blaDNA генов резистентности к защищенным пенициллинам и цефалоспорином; выделения ДНК *Klebsiella pneumoniae* и генов blaKPC и blaOXA48-like, отвечающих за резистентность к карбопенемам.

Статистическую обработку проводили с использованием пакетов анализа Microsoft Excel 2007, Statistica 6.0.

## Результаты исследования и обсуждение

При обследовании молочной железы коров, содержащихся в одной технологической группе, с целью диагностики мастита установили, что уровень воспалительных заболеваний вымени составил 36,6 %, при этом в большинстве случаев выявляли скрытую форму мастита (28,3 %), клиническую форму зарегистрировали у 8,3 % обследованных коров. На момент первого исследования количество пораженных долей молочной железы субклиническим и клиническим маститом составило соответственно 10,4 и 2,9 % от общего количества обследованных долей молочной железы коров.

При проведении повторного исследования (через 7 дней) количество животных со скрытым воспалением в молочной железе увеличилось на 3,4 % и составило

31,7 %, при этом также наблюдали увеличение уровня пораженных долей до 11,3 %. Количество коров с диагностированной клинической формой мастита сократилось до 5,0 % за счет применения данным животным терапии, в состав которой входили антимикробные препараты по установленной в сельскохозяйственной организации схеме (табл. 1).

Таблица 1

Заболееваемость коров маститом,  $n = 60$ 

| Период              | Исследовано |       | Субклинический мастит |      |       |      | Клинический мастит |     |       |     |
|---------------------|-------------|-------|-----------------------|------|-------|------|--------------------|-----|-------|-----|
|                     | коров       | долей | коров                 | %    | долей | %    | коров              | %   | долей | %   |
| Первое исследование | 60          | 240   | 17                    | 28,3 | 25    | 10,4 | 5                  | 8,3 | 7     | 2,9 |
| Второе исследование |             |       | 19                    | 31,7 | 27    | 11,3 | 3                  | 5,0 | 4     | 1,7 |

Источник: выполнено М.Н. Исаковой.

Table 1

Incidence of mastitis in cows,  $n = 60$ 

| Period             | Examined |       | Subclinical mastitis |      |       |      | Clinical mastitis |     |       |     |
|--------------------|----------|-------|----------------------|------|-------|------|-------------------|-----|-------|-----|
|                    | cows     | lobes | cows                 | %    | lobes | %    | cows              | %   | lobes | %   |
| First examination  | 60       | 240   | 17                   | 28.3 | 25    | 10.4 | 5                 | 8.3 | 7     | 2.9 |
| Second examination |          |       | 19                   | 31.7 | 27    | 11.3 | 3                 | 5.0 | 4     | 1.7 |

Source: compiled by M.N. Isakova.

СК являются индикатором воспалительного процесса, их количественное определение в секрете вымени коров является одним из основных показателей, который широко используется сельскохозяйственными организациями для оценки здоровья вымени и качества молока. Проведенные нами исследования на технологической группе животных показали, что на момент первого исследования согласно ГОСТ Р 52054–2023<sup>2</sup> у 63,3 % коров молоко по уровню СК соответствовало высшему сорту (до 250 тыс./мл). Количество СК в СМЖ с диапазоном от 251...400 тыс./мл (второй сорт) и от 401...750 тыс./мл (третий сорт), регистрировали у 11,7 и 16,7 % коров соответственно. Молоко от данных животных поступало в общий молокопровод. У 8,3 % коров, имеющих клиническое воспаление в молочной железе, установили повышение СК свыше 750 тыс./мл, доение производили в отдельную емкость с последующей утилизацией молока (табл. 2).

<sup>2</sup> ГОСТ Р 52054–2023. Молоко коровье сырое. Технические условия. М., 2023.

Таблица 2

Уровень соматических клеток в секрете молочной железы коров,  $n = 60$ 

| Показатель                   |           | Первое исследование |      | Второе исследование |      |
|------------------------------|-----------|---------------------|------|---------------------|------|
|                              |           | <i>n</i>            | %    | <i>n</i>            | %    |
| Соматические клетки, тыс./мл | до 250    | 38                  | 63,3 | 35                  | 58,3 |
|                              | 251...400 | 7                   | 11,7 | 8                   | 13,3 |
|                              | 401...750 | 10                  | 16,7 | 11                  | 18,3 |
|                              | свыше 750 | 5                   | 8,3  | 6                   | 10,0 |

Источник: выполнено М.Н. Исаковой.

Table 2

Somatic cell count in cow mammary gland secretion,  $n = 60$ 

| Indicator                         |           | First examination |      | Second examination |      |
|-----------------------------------|-----------|-------------------|------|--------------------|------|
|                                   |           | <i>n</i>          | %    | <i>n</i>           | %    |
| Somatic cells (thousand cells/ml) | to 250    | 38                | 63.3 | 35                 | 58.3 |
|                                   | 251...400 | 7                 | 11.7 | 8                  | 13.3 |
|                                   | 401...750 | 10                | 16.7 | 11                 | 18.3 |
|                                   | over 750  | 5                 | 8.3  | 6                  | 10.0 |

Source: compiled by M.N. Isakova.

Известно, что лактоферрин в молоке повышается раньше, чем СК, так как является белком острой фазы воспаления, следовательно, количественные изменения лактоферрина в молоке могут свидетельствовать о более ранних патологических процессах, происходящих в молочной железе. Определение данного показателя в качестве диагностического критерия также начинает внедряться в практику животноводства, например в связи с доступностью на российском рынке разработанных в 2018 г. бельгийскими учеными наборов иммуноферментного анализа (Bovine Lactoferrin ELISA Kit) или создания программного обеспечения, включающего калибровки на лактоферрин для лабораторных приборов (Bentley DairySpec 250 Combi). Анализ полученных нами результатов первого исследования показал, что минимальное значение лактоферрина в СМЖ коров составило 0,25 мг/мл, а максимальное — 3,5 мг/мл, средний уровень лактоферрина в молоке коров составил 1,62 мг/мл. Во втором исследовании наблюдали увеличение минимального и максимального значения содержания лактоферрина в СМЖ коров до 0,69 и 4,1 мг/мл соответственно, средний уровень лактоферрина в молоке коров составил 2,48 мг/мл (табл. 3). При этом количество животных с отклонением от референтных значений в сторону увеличения показателя на момент исследования составило 48,3 %, через 7 дней — 51,7 %. Следовательно, у 3,4 % коров с момента первого исследования в молочной железе наблюдалось усугубление воспалительного процесса в вымени.

Таблица 3

**Содержание соматических клеток, мочевины  
и лактоферрина в молоке коров,  $n = 60$**

| Характеристики показателя           | Первое исследование | Второе исследование |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------|
| <b>Соматические клетки, тыс./мл</b> |                     |                     |
| Мин. – макс.                        | 165–1500            | 104–1500            |
| Среднее арифм.                      | 409                 | 540                 |
| <b>Лактоферрин, мг/мл</b>           |                     |                     |
| Мин. – макс.                        | 0,25–3,5            | 0,69–4,1            |
| Среднее арифм.                      | 1,62                | 2,48                |
| <b>Мочевина, мг/100мл</b>           |                     |                     |
| Мин. – макс.                        | 14,18–35,15         | 14,86–36,05         |
| Среднее арифм.                      | 18,15               | 25,74               |

*Источник: выполнено М.Н. Исаковой.*

Table 3

**Somatic cell count, urea and lactoferrin in cow milk,  $n = 60$**

| Performance indicator                   | First examination | Second examination |
|---|-------------------|--------------------|
| <b>Somatic cells, thousand cells/ml</b> |                   |                    |
| Min – max                               | 165–1500          | 104–1500           |
| Arithmetic mean                         | 409               | 540                |
| <b>Lactoferrin, mg/ml</b>               |                   |                    |
| Min – max                               | 0.25–3.5          | 0.69–4.1           |
| Arithmetic mean                         | 1.62              | 2.48               |
| <b>Urea, mg/100 ml</b>                  |                   |                    |
| Min – max                               | 14.18–35.15       | 14.86–36.05        |
| Arithmetic mean                         | 18.15             | 25.74              |

*Source: compiled by M.N. Isakova.*

Анализ результатов исследований уровня лактоферрина предполагает, что проведение усиленных профилактических мероприятий у животных с пограничными значениями уровня лактоферрина по данным первого исследования в дальнейшем могло бы позволить снизить количество животных с воспалительными процессами в молочной железе.

Среднее значение показателя мочевины в молоке коров в зависимости от периода исследования составило 18,15 и 25,74 мг/100мл. При этом минимальное и максимальное значение мочевины находилось на уровне 14,18 и 35,15 мг/100 мл соответственно на момент первого исследования, и 14,86 и 36,05 мг/100 мл — второго (см. табл. 3). На момент первого исследования максимальное отклонение от референтных значений показателя мочевины в СМЖ коров составило  $35,15 \pm 0,45$  мг/100 мл, минимальное —  $14,18 \pm 0,18$  мг/100 мл. При повторном исследовании значение максимального и минимального отклонения составило  $36,05 \pm 0,12$  и  $14,86 \pm 0,21$  мг/100 мл соответственно. Количество коров с откло-

нением от референтных значений в сторону уменьшения или увеличения показателя мочевины на момент исследования составило 38,3 %, через 7 дней — 46,7 % (табл. 4).

Таблица 4

Анализ показателей мочевины и лактоферрина в молоке коров,  $n = 60$ 

| Период                    | Референтное значение(интервал) | Отклонение от референтных значений $M \pm m$ |              | Количество животных с отклонением от референтных значений |      |
|---------------------------|--------------------------------|--|--------------|---|------|
|                           |                                | Макс   | Мин          | $n$   | %    |
| <b>Мочевина, мг/100мл</b> |                                |  |              |   |      |
| Первое исследование       | 15,0...30,0                    | 35,15 ± 0,45                                 | 14,18 ± 0,18 | 23  | 38,3 |
| Второе исследование       |                                | 36,05 ± 0,12                                 | 14,86 ± 0,21 | 28  | 46,7 |
| <b>Лактоферрин, мг/мл</b> |                                |  |              |   |      |
| Первое исследование       | 0,05...1,00                    | 3,50 ± 0,24                                  | –            | 29  | 48,3 |
| Второе исследование       |                                | 4,10 ± 0,18                                  | –            | 31  | 51,7 |

Источник: выполнено М.Н. Исаковой.

Table 4

Analysis of urea and lactoferrin parameters in cows' milk,  $n = 60$ 

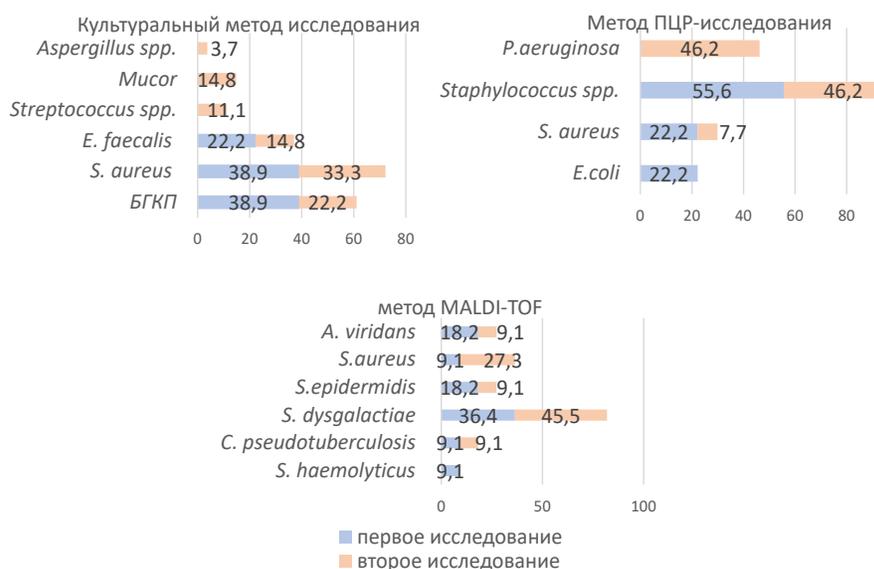
| Period                    | Reference value (interval) | Deviation from reference values $M \pm m$ |              | Number of animals with deviation from reference values |      |
|---------------------------|----------------------------|---|--------------|--|------|
|                           |                            | Max                                       | Min          | $n$  | %    |
| <b>Urea, mg/100 ml</b>    |                            |   |              |  |      |
| First examination         | 15.0–30.0                  | 35.15 ± 0.45                              | 14.18 ± 0.18 | 23   | 38.3 |
| Second examination        |                            | 36.05 ± 0.12                              | 14.86 ± 0.21 | 28   | 46.7 |
| <b>Lactoferrin, mg/ml</b> |                            |   |              |  |      |
| First examination         | 0.05–1.00                  | 3.50 ± 0.24                               | –            | 29   | 48.3 |
| Second examination        |                            | 4.10 ± 0.18                               | –            | 31   | 51.7 |

Source: compiled by M.N. Isakova.

Результаты, полученные с использованием культурального метода, показали наличие в пробах СМЖ коров бактерий группы кишечной палочки (38,9 %), золотистый стафилококк (38,9 %) и фекальный энтерококк (22,2 %). При ПЦР-исследовании в большинстве случаев выделяли *Staphylococcus spp.* (55,6 %), в одинаковом количестве в пробах секрета вымени коров обнаружили *S. aureus* и *E. coli* (22,2 %). Использование метода MALDI-TOF (масс-спектрометрия) позволило выделить

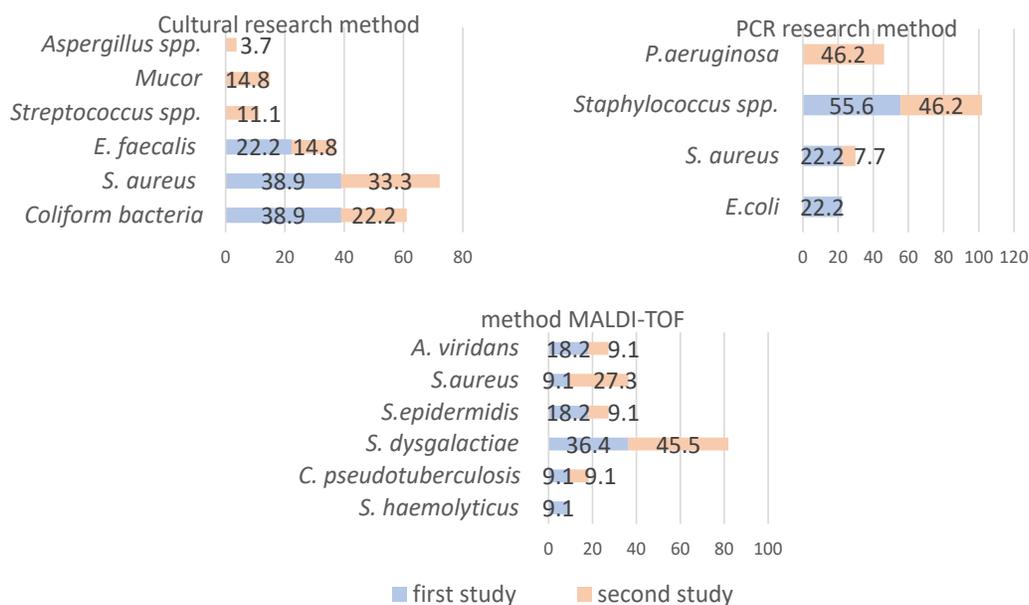
более широкий спектр бактерий в изучаемых пробах: *S. dysgalactiae* (36,4 %), *S. epidermidis* (18,2 %), *A. viridans* (18,2 %), *S. aureus* (9,1 %), *S. haemolyticus* (9,1 %), *C. pseudotuberculosis* (9,1 %). При проведении повторного исследования установили изменение соотношения выделенных бактерий. Так при использовании культурального метода исследования из проб выделяли следующие изоляты: *S. aureus* (33,3 %), бактерии группы кишечной палочки (БГКП) (22,2 %), *E. faecalis* (14,8 %), *Mucor* (14,8 %), *Streptococcus spp.* (11,1 %), *Aspergillus spp.* (3,7 %). Метод ПЦР-исследования в равном количестве позволил выделить *P. aeruginosa* и *Staphylococcus spp.* (46,2 %). При идентификации микроорганизмов методом MALDI-TOF в 45,5 и 27,3 % обнаруживали *S. dysgalactiae* и *S. aureus* соответственно, в минимальном количестве случаев были выделены *C. pseudotuberculosis* (9,1 %), *S. epidermidis* (9,1 %), *A. viridans* (9,1 %) (рис. 1).

Применение культурального метода и масс-спектрометрии позволило определить концентрацию выделенных изолятов микроорганизмов, способных сформировать полноценную микробную колонию. Так на момент первого исследования этиологически значимыми в развитии воспалительных реакций в молочной железе коров при использовании культурального метода установили БГКП, *S. aureus* *E. faecalis* в диагностическом титре более  $10^3$  КОЕ/мл. При использовании масс-спектрометрии установили этиологическую значимость *S. epidermidis* при количестве микробных клеток  $10^4$  КОЕ/мл. При повторном исследовании (культуральный метод) у изолятов *S. aureus* наблюдали увеличение количества колониеобразующих единиц в 1 мл исследуемой пробы (КОЕ/мл) до уровня  $10^7$  (табл. 5).



**Рис. 1.** Выделенные изоляты микроорганизмов из проб секрета молочной железы коров при использовании разных методов исследования

Источник: выполнено М.Н. Исаковой.



**Fig. 1.** Isolated microorganisms from cow mammary gland secretion samples using different research methods

Source: compiled by M.N. Isakova.

Таблица 5

**Количество колониобразующих единиц выделенных изолятов микроорганизмов при использовании разных методов исследования**

| Метод идентификации бактерий | Изолят             | Значение КОЕ/мл | Первое исследование | Второе исследование |
|------------------------------|--------------------|-----------------|---------------------|---------------------|
|                              |                    |                 | Доля, %             |                     |
| Культуральный                | БГКП               | 10 <sup>1</sup> | 42,9                | –                   |
|                              |                    | 10 <sup>2</sup> | 14,3                | 50,0                |
|                              |                    | 10 <sup>3</sup> | 14,3                | 50,0                |
|                              |                    | 10 <sup>4</sup> | 14,3                | –                   |
|                              |                    | 10 <sup>6</sup> | 14,3                | –                   |
|                              | <i>S. aureus</i>   | 10 <sup>2</sup> | 62,5                | 33,3                |
|                              |                    | 10 <sup>3</sup> | 37,5                | 22,2                |
|                              |                    | 10 <sup>4</sup> | –                   | 11,1                |
|                              |                    | 10 <sup>5</sup> | –                   | 11,1                |
|                              |                    | 10 <sup>7</sup> | –                   | 22,2                |
|                              | <i>E. faecalis</i> | 10 <sup>2</sup> | 25,0                | –                   |
|                              |                    | 10 <sup>3</sup> | 50,0                | 50,0                |
|                              |                    | 10 <sup>4</sup> | 25,0                | 50,0                |

Окончание табл. 5

| Метод идентификации бактерий | Изолят                       | Значение КОЕ/мл | Первое исследование | Второе исследование |
|------------------------------|------------------------------|-----------------|---------------------|---------------------|
|                              |                              |                 | Доля, %             |                     |
| Масс-спектрометрия           | <i>S. haemolyticus</i>       | 10 <sup>3</sup> | 9,1                 | –                   |
|                              | <i>C. pseudotuberculosis</i> | 10 <sup>3</sup> | 9,1                 | 9,1                 |
|                              | <i>S. dysgalactiae</i>       | 10 <sup>3</sup> | 36,4                | 45,5                |
|                              |                              | 10 <sup>4</sup> | 18,2                | 9,1                 |
|                              | <i>S. epidermidis</i>        | 10 <sup>3</sup> | 9,1                 | 27,3                |
|                              | <i>S. aureus</i>             | 10 <sup>3</sup> | 18,2                | 9,1                 |
|                              | <i>viridans</i>              | 10 <sup>2</sup> | 9,1                 | –                   |

Источник: выполнено М.Н. Исаковой.

Table 5

**Number of colony-forming units of isolated microorganisms using different research methods**

| Method of identification of bacteria | Isolate                      | CFU/ml          | First examination | Second examination |
|--------------------------------------|------------------------------|-----------------|-------------------|--------------------|
|                                      |                              |                 | Lobe, %           |                    |
| Cultural                             | <i>Coliform bacteria</i>     | 10 <sup>1</sup> | 42.9              | –                  |
|                                      |                              | 10 <sup>2</sup> | 14.3              | 50.0               |
|                                      |                              | 10 <sup>3</sup> | 14.3              | 50.0               |
|                                      |                              | 10 <sup>4</sup> | 14.3              | –                  |
|                                      |                              | 10 <sup>6</sup> | 14.3              | –                  |
|                                      | <i>S. aureus</i>             | 10 <sup>2</sup> | 62.5              | 33.3               |
|                                      |                              | 10 <sup>3</sup> | 37.5              | 22.2               |
|                                      |                              | 10 <sup>4</sup> | –                 | 11.1               |
|                                      |                              | 10 <sup>5</sup> | –                 | 11.1               |
|                                      |                              | 10 <sup>7</sup> | –                 | 22.2               |
|                                      | <i>E. faecalis</i>           | 10 <sup>2</sup> | 25.0              | –                  |
|                                      |                              | 10 <sup>3</sup> | 50.0              | 50.0               |
|                                      |                              | 10 <sup>4</sup> | 25.0              | 50.0               |
| Mass spectrometry                    | <i>S. haemolyticus</i>       | 10 <sup>3</sup> | 9.1               | -                  |
|                                      | <i>C. pseudotuberculosis</i> | 10 <sup>3</sup> | 9.1               | 9.1                |
|                                      | <i>S. dysgalactiae</i>       | 10 <sup>3</sup> | 36.4              | 45.5               |
|                                      |                              | 10 <sup>4</sup> | 18.2              | 9.1                |
|                                      | <i>S. epidermidis</i>        | 10 <sup>3</sup> | 9.1               | 27.3               |
|                                      | <i>S. aureus</i>             | 10 <sup>3</sup> | 18.2              | 9.1                |
|                                      | <i>viridans</i>              | 10 <sup>2</sup> | 9.1               | –                  |

Source: compiled by M.N. Isakova.

При определении чувствительности к антибиотикам с помощью диско-диффузионного метода зарегистрировали резистентность у единично выделенных изолятов *C. pseudotuberculosis* к бензилпенициллину, *S. dysgalactiae* — тетрациклину, *S. aureus* — бензилпенициллину, амоксициллину.

Метод ПЦР на момент первого исследования позволил выявить отсутствие у выделенных изолятов микроорганизмов генов резистентности к гликопептидам, цефалоспорином, карбопенемам, бета-лактамам, защищенным пенициллинам. Повторным исследованием у 2,2 % выявленных изолятов *P. aeruginosa* обнаружены гены *blaVIM* и *blaNDM*, отвечающие за устойчивость к карбопенемам. При определении остаточных веществ в сборном молоке с помощью экспресс-теста Delvotest BLF и SP-NT установили отсутствие антибиотиков β-лактамной группы (пенициллины, цефалоспорины) и тетрациклиновой группы.

## Заключение

Исследования СМЖ коров играют важную роль в диагностике мастита. Для более раннего обнаружения воспалительного процесса в вымени коров возможно определение лактоферрина в молоке, так как его содержание повышается раньше, чем количество СК. Лактоферрин относится к белкам острой фазы воспаления и достаточно быстро реагирует на нарушения гомеостаза, что проявляется увеличением его уровня. Подсчет СК в СМЖ используется в практике как наиболее простой и доступный метод диагностики воспалительных заболеваний молочной железы коров. Определение отклонений в содержании мочевины в секрете вымени животных может служить дополнительным методом диагностики воспалительных заболеваний молочной железы за счет того, что при мастите в организме коров наблюдаются метаболические изменения, которые влияют на образование и выделение мочевины с молоком, например снижение усвояемости сырого протеина и нарушение баланса азота. Так же исследования мочевины в молоке позволят выявить животных с нарушениями обмена веществ на более ранних стадиях их возникновения. Применение исследований СМЖ коров разными методами, используемыми для выделения микроорганизмов, позволит получить более обширные данные о возбудителях, способных вызывать развитие мастита у коров. Культуральный метод наиболее эффективен для идентификации микроорганизмов, хорошо растущих на питательных средах, метод ПЦР применим для выделения трудно культивируемых, некультивируемых и скрыто существующих форм бактерий. Масс-спектрометрия обеспечивает высокую точность и разнообразие видовой идентификации микроорганизмов. Своевременное определение чувствительности микроорганизмов к антибиотикам и определение генов резистентности позволит подобрать наиболее эффективные препараты для лечения. Контроль остаточных веществ в пробах сборного молока необходим для снижения экономических потерь, связанных с выбраковкой молока. Таким образом, комплексное применение разных методов исследования СМЖ коров позволит диагностировать мастит,

оценив его стадию и течение, и как можно быстрее применить профилактические и эффективные лечебные мероприятия.

### Список литературы

1. Ладанова М.А., Джавадов Э.Д., Племяшов К.В., Стекольников А.А., Новикова О.Б. Современный взгляд на этиологию, патогенез и диагностику мастита у коров // Международный вестник ветеринарии. 2021. № 4. С. 29–34. doi: 10.52419/issn2072-2419.2021.4.29 EDN: LAPHJE
2. Зверев Е.В., Зуев Н.П. Распространение и этиология маститов у лактирующих коров // Актуальные вопросы ветеринарной медицины и зоотехнии : материалы Нац. науч. конф. студентов и аспирантов, посвя. 85-летию проф. В.П. Кулаченко. Майский, 2022. С. 212–213. EDN: SWSZNU
3. Осолкова М.В., Кузьмина Э.В. Этиология мастита и его взаимосвязь с гинекологическими заболеваниями крупного рогатого скота // Известия оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 4 (48). С. 86–88. EDN: SUCQYT
4. Fredebeul-Krein F., Schmenger A., Wente N., Zhang Y., Krömker V. Factors Associated with the Severity of Clinical Mastitis // Pathogens. 2022. Vol. 11. № 10. P. 1089. doi: 10.3390/pathogens11101089 EDN: AQOOEO
5. Филатова А.В., Тшивале Б.М., Федотов С.В., Авдеенко В.С., Климов Н.Т. Инфекционный фактор в этиологии мастита у высокопродуктивных лактирующих коров // Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. 2022. Т. 58. № 4. С. 86–91. doi: 10.52368/2078-0109-2022-58-4-86-91 EDN: RBUKFW
6. Соколова О.В., Зубарева В.Д. Сравнение микробиоты репродуктивного пути и молочной железы коров по данным секвенирования гена 16S Р РНК // Материалы Междунар. науч. конф. «Наука, техника и инновационные технологии в период возрождения новой эпохи могущественного государства». Ашхабад, 2022. С. 280–282. EDN: VWMMIU
7. Соколова О.В., Шкуратова И.А., Безбородова Н.А., Кожуховская В.В. Антибиотикорезистентность микробиоты молочной железы и репродуктивного тракта коров // Ветеринария. 2021. № 9. С. 10–15. doi: 10.30896/0042-4846.2021.24.9.10-15 EDN: MQJJHF
8. Мищенко А.В., Гулюкин А.М., Оганесян А.С., Мищенко В.А., Гулюкин М.И., Лопунов С.В., Заболотная И.М. Использование проб молока при эпизоотическом контроле болезней крупного рогатого скота // Аграрная наука. 2023. № 5. С. 27–32. doi: 10.32634/0869-8155-2023-370-5-27-32 EDN: CXGEKW
9. Часовицкова М.А., Губанов М.В. Состав молока как элемент контроля здоровья стада // Аграрный вестник Урала. 2022. № 11 (226). С. 70–79. doi: 10.32417/1997-4868-2022-226-11-70-79
10. Семиволос А.М., Лоцинин С.О., Агольцов В.А., Семиволос С.А., Падило Л.П. Оценка эффективности мастит-тестов для диагностики субклинического мастита у коров // Аграрный научный журнал. 2024. № 2. С. 79–82. doi:10.28983/asj.y2024i2pp79-82 EDN: FTTEEY
11. Сермягин А.А., Лашнева И.А., Косицин А.А., Игнатъева Л.П., Артемьева О.А., Зёлкнер Й., Зиновьева Н.А. Морфологический состав соматических клеток в молоке как критерии оценки здоровья молочной железы в связи с продуктивностью и компонентами молока // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56. № 6. С. 1183–1198. doi: 10.15389/агробиология.2021.6.1183рус EDN: FQDYAH
12. Shabu S., Henna W., Umer A., Mudasir A. Mastitis and its diagnosis: A review // Recent Research Trends in Veterinary Sciences and Animal Husbandry. 2018. P. 69–86. doi:10.22271/ed.book01.a06
13. Ashraf A., Imran M. Diagnosis of bovine mastitis: from laboratory to farm // Tropical Animal Health and Production. 2018. Vol. 50. № 9. P. 1193–1202. doi: 10.1007/s11250-018-1629-0 EDN: NBLYZU
14. Jaeger S., Virchow F., Torgerson P.R., Bischoff M., Biner B., Hartnack S., Rüegg S.R. Test characteristics of milk amyloid A ELISA, somatic cell count, and bacteriological culture for detection of intramammary pathogens that cause subclinical mastitis // Journal of Dairy Science. 2017. Vol. 100. № 9. P. 7419–7426. doi: 10.3168/jds.2016-12446
15. Adkins P.R.F., Middleton J.R. Methods for Diagnosing Mastitis // Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice. 2018. Vol. 34. № 3. P. 479–491. doi: 10.1016/j.cvfa.2018.07.003

## References

1. Ladanova MA, Dzhavadov ED, Plemiashov KV, Stekol'nikov AA, Novikova OB. Modern view on the etiology, pathogenesis and diagnosis of mastitis in cows. *International bulletin of Veterinary Medicine*. 2021;(4):29–34. (In Russ.). doi: 10.52419/issn2072-2419.2021.4.29 EDN: LAPHJE
2. Zverev EV, Zuev NP. Rasprostranenie i etiologiya mastitov u laktiruiushchikh korov [Prevalence and etiology of mastitis in lactating cows]. *Aktual'nye voprosy veterinarnoi meditsiny i zootekhnii. Materialy Natsional'noi nauchnoi konferentsiia studentov i aspirantov, posviashchennoi 85-letiiu professora V.P. Kulachenko. Maiskii*. 2022:212–213. (In Russ.). EDN: SWSZNU
3. Oskolkova MV, Kuz'mina EV. Etiology of mastitis and its relationship with gynecological diseases of cattle. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2014;(4):86–88. (In Russ.). EDN: SUCQYT
4. Fredebeul-Krein F, Schmenger A, Wente N, Zhang Y, Krömker V. Factors Associated with the Severity of Clinical Mastitis. *Pathogens*. 2022. 24;11(10):1089. doi: 10.3390/pathogens11101089 EDN: AQOOEO
5. Filatova AV, Tshivale BM, Fedotov SV, Avdeenko VS, Klimov NT. Infectious factor in the etiology of mastitis in highly productive lactating cows. *Transactions of the educational establishment "Vitebsk the Order of "the Badge of Honor" State Academy of Veterinary Medicine*. 2022;58(4):86–91. (In Russ.). doi: 10.52368/2078-0109-2022-58-4-86-91 EDN: RBUKFW
6. Sokolova OV, Zubareva VD. Sravnenie mikrobiotov reproduktivnogo puti i molochnoi zhelezy korov po dannym sekvenirovaniia gena 16S R RNK [Comparison of the microbiota of the reproductive tract and mammary gland of cows based on 16S R RNA gene sequencing data]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Nauka, tekhnika i innovatsionnye tekhnologii v period vozrozhdeniia novoi epokhi mogushchestvennogo gosudarstva»*. Ashkhabad, 2022:280–282. (In Russ.). EDN: VWMMIU
7. Sokolova OV, Shkuratova IA, Bezborodova NA, Kozhukhovskaia VV. Antibiotic resistance of microbiota of mamary gland and reproductive tract of cows. *Veterinary medicine*. 2021;(9):10–15. (In Russ.). doi: 10.30896/0042-4846.2021.24.9.10-15 EDN: MQJJHF
8. Mishchenko AV, Gulyukin AM, Oganesyan AS, Mishchenko VA, Gulyukin MI, Lopunov SV, Zabolotnaya IM. Use of milk samples in epizootic surveillance of cattle diseases. *Agrarian science*. 2023; (5):27–32. (In Russ.). doi: 10.32634/0869-8155-2023-370-5-27-32 EDN: CXGEKW
9. Chasovshchikova MA, Gubanov MV. Monitoring khimicheskogo sostava moloka kak element kontrolya sostoyaniya zdorov'ya stada [Milk composition as an element of herd health control]. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022;(11):70–79. (In Russ.). doi: 10.32417/1997-4868-2022-226-11-70-79
10. Semivolos AM, Loshchinin SO, Agol'tsov VA, Semivolos SA, Padilo LP. Evaluation of the effectiveness of mastitis tests for the diagnosis of subclinical mastitis in cows. *The Agrarian Scientific Journal*. 2024;(2):79–82. (In Russ.). doi: 10.28983/asj.y2024i2pp79-82 EDN: FTTEEY
11. Sermiagin AA, Lashneva IA, Kositsin AA, Ignat'eva LP, Artem'eva OA, Zelnik I, Zinov'eva NA. Differential somatic cell count in milk as criteria for assessing cows' udder health in relation with milk production and components. *Agricultural Biology*. 2021;56(6):1183–1198. (In Russ.). doi: 10.15389/agrobiology.2021.6.1183eng EDN: FQDYAH
12. Shabu S, Henna W, Umer A, Mudasir A. Mastitis and its diagnosis: a review. *In book: Recent Research Trends in Veterinary Sciences and Animal Husbandry*. 2018:69–86. doi: 10.22271/ed.book01.a06
13. Ashraf A, Imran M. Diagnosis of bovine mastitis: from laboratory to farm. *Tropical animal health and production*. 2018;50(6):1193–1202. doi: 10.1007/s11250-018-1629-0
14. Jaeger S, Virchow F, Torgerson PR, Bischoff M, Biner B, Hartnack S, Rüegg SR. Test characteristics of milk amyloid A ELISA, somatic cell count, and bacteriological culture for detection of intramammary pathogens that cause subclinical mastitis. *Journal of dairy science*. 2017;100(9):7419–7426. doi: 10.3168/jds.2016-12446
15. Adkins PRF, Middleton JR. Methods for Diagnosing Mastitis. *The Veterinary clinics of North America. Food animal practice*. 2018;34(3):479–491. doi: 10.1016/j.cvfa.2018.07.003

### Об авторах:

Исакова Мария Николаевна — кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник отдела репродуктивной биологии и неонатологии, ФГБНУ УрФАНИИЦ УрО РАН, Российская Федерация, 620142, г. Екатеринбург, ул. Белинского, д. 112а; e-mail: tmarya105@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-7130-5627 SPIN-код: 7824-9506

*Безбородова Наталья Александровна* — кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник отдела геномных исследований и селекции животных, ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН, Российская Федерация, 620142, г. Екатеринбург, ул. Белинского, д. 112а; e-mail: n-bezborodova@mail.ru

ORCID: 0000-0003-2793-5001 SPIN-код: 7012-0999

*Лысова Яна Юрьевна* — заведующая лабораторией микробиологических и молекулярно-генетических методов исследования отдела ветеринарно-лабораторной диагностики с испытательной лабораторией, старший научный сотрудник, ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН, Российская Федерация, 620142, г. Екатеринбург, ул. Белинского, д. 112а, e-mail: mikroba.urnivi@mail.ru

ORCID: 0000-0001-6797-0659 SPIN-код: 5808-9197

*Опарина Ольга Юрьевна* — кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник лаборатории иммунологии и патобиохимии, ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН, Российская Федерация, 620142, г. Екатеринбург, ул. Белинского, д. 112а, e-mail: olia91oparina@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-6106-3003 SPIN-код: 6435-5512

#### **About the authors:**

*Isakova Maria Nikolaevna* — Candidate of Veterinary Sciences, Senior Researcher, Department of Reproductive Biology and Neonatology, Ural Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 112a Belinsky Street, Ekaterinburg, 620142, Russian Federation; e-mail: tmarya105@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-7130-5627 SPIN-code: 7824-9506

*Bezborodova Natalya Aleksandrovna* — Candidate of Veterinary Sciences, Senior Researcher, Department of Genomic Research and Animal Breeding, Ural Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 112a Belinsky Street, Ekaterinburg 620142, Russian Federation; e-mail: n-bezborodova@mail.ru

ORCID: 0000-0003-2793-5001 SPIN-code: 7012-0999

*Lysova Yana Yuryevna* — Head of the Laboratory of Microbiological and Molecular Genetic Research Methods, Department of Veterinary Laboratory Diagnostics with a Testing Laboratory, Senior Researcher, Ural Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 112a Belinsky Street, Ekaterinburg, 620142, Russian Federation; e-mail: mikroba.urnivi@mail.ru

ORCID: 0000-0001-6797-0659 SPIN-code: 5808-9197

*Oparina Olga Yuryevna* — Candidate of Veterinary Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Immunology and Pathobiochemistry, Ural Federal Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 112a Belinsky Street, Ekaterinburg, 620142, Russian Federation; e-mail: olia91oparina@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-6106-3003 SPIN-code: 6435-5512



DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-635-644  
EDN CJMQTQ  
УДК 619:616.34

Обзорная статья / Review article

## Особенности возникновения, распространения, диагностики, патогенеза и лечения инфекционного перитонита кошек

С.В. Лаптев , М.В. Селина  

Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии  
им. К.И. Скрябина, г. Москва, Российская Федерация  
 project@mgavm.ru

**Аннотация.** Представлено обобщение современных данных о распространении, патогенезе, диагностике и лечении инфекционного перитонита кошек (FIP), вызываемого коронавирусом кошек (FCoV). Коронавирусы характеризуются высокой частотой мутаций и способностью к межвидовой передаче, что объясняет их широкое распространение у домашних и диких животных. Установлено, что FCoV выявляется у значительной части популяции кошек, однако инфекционный перитонит развивается лишь у приблизительно 10 % инфицированных животных вследствие мутаций вируса внутри организма хозяина. Заболевание сопровождается системным воспалительным процессом, полиорганной недостаточностью и высокой летальностью. Рассмотрены механизмы передачи коронавируса, включая роль летучих мышей как резервуара  $\alpha$ - и  $\beta$ -CoV, а также подтверждена возможность репликации SARS-CoV-2 в организме кошек и собак, что свидетельствует о потенциальных зоонозных рисках. Особое внимание уделено особенностям лабораторной диагностики, включая использование методов ПЦР, ИФА, а также выявлению характерных биохимических и морфологических изменений. Обобщены данные о поражении различных органов и систем, в частности о сердечно-сосудистых осложнениях, включая миокардит, который может развиваться как при прямом инфицировании миокарда коронавирусом, так и в результате системной воспалительной реакции или цитокинового шторма. Проанализированы современные терапевтические подходы, включая противовирусные и иммуномодулирующие схемы. Наибольший интерес представляют нуклеозидные аналоги, в частности GS-441524, обладающий способностью прерывать репликацию вирусной РНК. Отмечено появление российских препаратов, таких как КоронаКэт, Melon-V. Однако сохраняются риски формирования резистентных штаммов. Таким образом, инфекционный перитонит кошек остается одной из наиболее актуальных проблем ветеринарной медицины. Систематизация данных подчеркивает необходимость дальнейших исследований, направленных на уточнение патогенеза, совершенствование диагностических критериев и разработку эффективных противовирусных средств.

**Ключевые слова:** коронавирусы, инфекция, FIP, миокардит, симптомы, FCoV

© Лаптев С.В., Селина М.В., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

**Вклад авторов:** идея и постановка исследования, проведение исследования и сбор данных, редактирование и научное руководство — С.В. Лаптев; анализ результатов и написание текста статьи — М.В. Селина. Все авторы ознакомились с финальной версией статьи и одобрили ее.

**Заявление о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**История статьи:** поступила в редакцию 11 сентября 2025 г., принята к публикации 15 октября 2025 г.

**Для цитирования:** Лаптев С.В., Селина М.В. Особенности возникновения, распространения, диагностики, патогенеза и лечения инфекционного перитонита кошек // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2025 Т. 20. № 4. С. 635–644. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-635-644 EDN: CJMQTQ

## Features of the occurrence, spread, diagnosis, pathogenesis and treatment of infectious feline peritonitis

Sergey V. Laptev , Marina V. Selina  

Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology —  
MVA by K.I. Skryabin, Moscow, Russian Federation  
 project@mgavm.ru

**Abstract.** This study presents a synthesis of current data on the prevalence, pathogenesis, diagnosis, and treatment of feline infectious peritonitis (FIP), caused by feline coronavirus (FCoV). Coronaviruses are characterized by a high mutation rate and the ability to cross species barriers, which explains their wide distribution among domestic and wild animals. It has been established that FCoV is detected in a significant proportion of the feline population; however, infectious peritonitis develops in only about 10 % of infected animals as a result of viral mutations occurring within the host organism. The disease is accompanied by systemic inflammatory processes, multiple organ failure, and high mortality. The study examines the mechanisms of coronavirus transmission, including the role of bats as reservoirs of  $\alpha$ - and  $\beta$ -CoVs, and confirms the ability of SARS-CoV-2 to replicate in cats and dogs, indicating potential zoonotic risks. Particular attention is given to laboratory diagnostic approaches, including PCR, ELISA, and the detection of characteristic biochemical and morphological changes. Data on lesions affecting various organs and systems are summarized, with a focus on cardiovascular complications, including myocarditis, which may develop either as a result of direct myocardial infection by the virus or secondary to systemic inflammatory responses and cytokine storm. Modern therapeutic strategies, including antiviral and immunomodulatory approaches, are analyzed. Nucleoside analogues, particularly GS-441524, which inhibits viral RNA replication, are highlighted as the most promising. The emergence of Russian drugs such as “KoronaCat” and “Melon-V” has been noted; however, the risk of resistant strain development remains a concern. Thus, feline infectious peritonitis continues to represent one of the most pressing problems in veterinary medicine. The systematization of available data underscores the need for further studies aimed at clarifying the pathogenesis, improving diagnostic criteria, and developing effective antiviral therapies.

**Keywords:** coronaviruses, infection, FIP, myocarditis, symptoms, FCoV

**Authors' contribution:** S.V. Laptev — study concept and design, conducting the study and collecting data, editing and scientific supervision; M.V. Selina — data analysis, manuscript writing. All authors have reviewed and approved the final version of the article.

**Conflicts of interest.** The authors declare that there are no conflicts of interest.

**Article history:** received 11 September 2025; accepted 15 October 2025.

**For citation:** Laptev SV, Selona MV. Features of the occurrence, spread, diagnosis, pathogenesis and treatment of infectious feline peritonitis. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(4):635–644. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-635-644 EDN: CJMQTQ

## Введение

Коронавирусы кошек (FCoVs) — это оболочечные РНК-вирусы, принадлежащие к семейству Coronaviridae рода Alphacoronavirus. FCoVс эндемичны для домашних кошек. В Российской Федерации коронавирусная инфекция впервые была выявлена в 1990-х гг. у чистокровных животных [1]. Инфекционный вирусный перитонит кошек (FIP) — это иммунозависимое инфекционное заболевание, приводящее к летальному исходу [2–4]. Болеют преимущественно молодые и старые животные. Заболевание может протекать в экссудативной и гранулематозной формах, в патологический процесс помимо печени и почек вовлекаются также сердце, глаза и мозг. Поврежденные вирусом макрофаги утрачивают способность экспрессировать вирусные антигены на своей поверхности, в результате чего специфические антитела не могут идентифицировать пораженные клетки. Наиболее информативно иммуногистохимическое исследование [5].

Различают два серотипа коронавируса: первый (кошачий коронавирус FECV) вызывает коронавирусный энтерит у кошек, второй (вирус инфекционного перитонита кошек FIPV) вызывает инфекционный вирусный перитонит у кошек с высоким уровнем смертности [1]. Доказано, что FIPV является мутацией FECV, которая возникает в 8...10 % случаев [2, 6]. Иногда безвредные серотипы могут приводить к смертельным мутациям [7].

**Цель обзора** — комплексное исследование инфекционного перитонита кошек при коронавирусной инфекции с охватом широкого спектра аспектов, включая эпизоотологию, методы выявления, механизмы развития заболевания, профилактические меры, терапевтические подходы и прогнозирование исходов болезни.

## Материалы и методы исследования

В рамках данного исследования были задействованы теоретические подходы, включая изучение и систематизацию актуальных публикаций российских и зарубежных исследователей. Поиск соответствующих материалов производился с использованием электронных баз данных, таких как Google Scholar, CrossRef, eLIBRARY.RU и cyberleninka.ru, по ключевым словам «инфекционный перитонит кошек» и «FIP» за 2018–2025 гг. Источники отбирались в соответствии с содержанием в них актуальной информации об эпизоотической ситуации, диагностических подходах, патогенетических механизмах, а также стратегиях профилактики и лечения указанного заболевания.

## Результаты исследования и обсуждение

FCoVs обнаружены у домашних и диких кошек, а также у других животных с респираторным синдромом [2, 4, 8, 9]. Мыши и хорьки восприимчивы к инфекции [2]. Коронавирусы (CoV) способны к рекомбинации, и большинство инфекций CoV являются зоонозными [10]. Способность адаптироваться к новым хозяевам объясняется высокой частотой мутаций, из-за низкой надежности вирусной РНК-полимеразы [11]. Летучие мыши являются резервуаром для  $\alpha$ - и  $\beta$ -коронавирусов [12], которые встречаются у людей, собак, кошек, свиней, мышей, крыс, лошадей и крупного рогатого скота [13–16].

Вирус SARS-CoV-2 может размножаться в организме кошек и собак [17–22] и передаваться при контакте с людьми, больными COVID-19. РНК SARS-CoV-2 выделяется из слизистой полости рта и носа, а также шерсти кошек, но анализы ОТ-ПЦР и ИФА не всегда дают положительный результат [23, 24]. Внешняя оценка качества по тестированию РНК вируса SARS-CoV-2 методом ПЦР выявила основные ошибки, допускаемые в ходе исследований [25]. Также были обобщены структурные особенности коронавируса SARS-CoV-2, описаны клеточные механизмы, которые делают некоторых пациентов наиболее восприимчивыми к инфекции [26].

Распространенность FCoV-инфекции среди кошек достигает 90 %. Вирус выделяется с калом и передается фекально-оральным путем [27, 28]. В 10 % случаев развивается инфекционный перитонит у кошек (FIP) [29], когда высоковирулентные FCoV возникают заново в результате мутации внутри особи [30], которая приводит к системной инфекции [31], появлению различных клинических признаков и последующей гибели животного в течение восьми-девяти дней после постановки диагноза [32]. Синдром системной воспалительной реакции, полиорганная недостаточность и развитие симптомов сепсиса делают некоторых пациентов более восприимчивыми к инфекции [33–35].

Вакцин для профилактики FCoV не существует. Инфекционный перитонит кошек (FIP), вызываемый коронавирусом кошек (FCoV), без лечения приводит к летальному исходу [36]. Предлагались различные противовирусные и иммуномодулирующие схемы лечения FIP, которые не были признаны эффективными [37]. Однако нелегализованный аналог нуклеозида GS-441524 перспективен для кошек с FIP [38–42] и обладает свойством прерывать цепь РНК вируса. На российском рынке лекарственных средств для лечения FIP организован выпуск препарата КоронаКэт, основанный на нуклеозидном аналоге GS-441524, а также апробируется препарат Melon-V, но есть опасения по поводу появления мутантов [43].

У кошек с FIP наблюдается повышенная транскрипция воспалительных цитокинов в сердечной мышце и печени, хотя этот показатель в сердце был ниже, чем в печени, что свидетельствует о более позднем и реактивном вовлечении миокарда в процесс заболевания [44]. Могут развиваться выпоты в полости тела, пиогранулематозные поражения различных органов, включая мозг и глаза [45], дерматологические проявления [46], а также поражения миокарда или миокардит [41, 47, 48]. Миокардит может проявляться различными клиническими симптомами, включая систолическую

и/или диастолическую дисфункцию, утолщение стенок желудочков и аномальные движения стенок, перикардальный выпот и электрокардиографические изменения [49]. Воспаление миокарда может быть вызвано инфекцией *Streptococcus suis* [50], *Bartonella henselae* [51, 52] или *Salmonella typhimurium* [53], а также паразитами, такими как *Hepatozoon silvestris* [54], *Sarcocystis felis* [55] и *Toxoplasma gondii* [56, 57], а также неинфекционными причинами. SARS-CoV-2 может вызывать миокардит у людей (связан с воспалительной реакцией и цитокиновым штормом [58]) и сердечную недостаточностью у кошек [59, 60]. Однако неясно, вызывал ли вирус миокардит напрямую или же в результате мультисистемного воспалительного синдрома, как это было описано у людей [61]. FCoV обнаружен при вскрытии в миокарде кошек [59] с диффузным гранулематозным воспалением сердца при FIP [62]. Модифицированные критерии Дюка для диагностики инфекционного эндокардита у людей [63], собак [64] и кошек [57] включают сTnI >1,0 нг/мл и/или обнаружение вируса. Вторичные критерии включают лихорадку, сердечные шумы, желудочковую аритмию, снижение систолической функции левого желудочка, гетерогенность миокарда левого желудочка, перикардальный выпот и лабораторные изменения, такие как воспалительная лейкограмма, анемия, тромбоцитопения и гипоальбуминемия. Миокардит предполагается при наличии двух основных критериев или одного основного критерия и трех вторичных критериев [65]. Миокардит может быть важным симптомом FIP и эффективно лечится противовирусными препаратами в сочетании с симптоматическим лечением сердечно-сосудистыми препаратами. Эндомиокардиальная биопсия считается золотым стандартом диагностики миокардита у людей [66]. Однако, поскольку эта процедура является очень инвазивной для кошек, диагноз часто ставится на основании анамнеза и клинических данных в сочетании с лабораторными показателями, такими как тропонин I [67], ЭКГ и эхокардиография. Некоторые лабораторные изменения, такие как повышение уровня белков острой фазы и лихорадка, могут быть связаны с самим FIP [45, 68].

## Заключение

Коронавирусы характеризуются высокой частотой мутаций и способностью к межвидовой передаче, что обуславливает их широкое распространение среди домашних и диких животных. FCoV — основной этиологический агент FIP, который развивается приблизительно у 10 % инфицированных особей вследствие мутаций вируса в организме хозяина. Также заболевание сопровождается системным воспалительным процессом, полиорганными поражениями и высокой летальностью.

Специфические вакцины для профилактики и лечения FIP отсутствуют. Наибольшую перспективу демонстрируют нуклеозидные аналоги, в частности GS-441524, применение которых в ряде случаев приводит к клиническому выздоровлению, однако сохраняются риски формирования резистентных вариантов вируса. Особую значимость имеют осложнения со стороны сердечно-сосудистой системы, включая миокардит, который может формироваться как следствие прямого воздействия коронавирусной инфекции, так и в рамках системной воспалительной реакции.

Поражение миокарда у кошек с FIP сопровождается характерными клиническими и морфологическими изменениями, однако диагностика данного состояния затруднена из-за ограничений в применении инвазивных методов. В большинстве случаев она основывается на клинических данных, лабораторных показателях, а также результатах инструментальных исследований.

Таким образом, FIP остается актуальной проблемой ветеринарной медицины. Дальнейшие исследования направлены на уточнение патогенеза заболевания, разработку надежных диагностических критериев и создание эффективных противовирусных средств, позволяющих снизить летальность и контролировать распространение FIP.

### Список литературы / References

1. Petrova OU, Kosyaev NI, Efimova IO, Mozhaeva AA. Infektsionnyi peritonit koshek [Feline infectious peritonitis]. *Agrarnaya nauka — sel'skomu khozyaistvu [Agricultural science — agriculture]*. Barnaul: Altai State Agrarian University. 2018. P. 422–423. (In Russ.). EDN: YWLLDE  
Петрова О.Ю., Косьяев Н.И., Ефимова И.О., Можяева А.А. Инфекционный перитонит кошек // Аграрная наука — сельскому хозяйству. Барнаул : АлтГАУ, 2018. С. 422–423. EDN: YWLLDE
2. Barsegyan LS, Sukharev OI, Kulikov EV. Feline infectious viral peritonitis (literature review). *Actual Questions of Veterinary Biology*. 2015;(1):16–23. (In Russ.). EDN: TLXQFZ  
Барсегян Л.С., Сухарев О.И., Куликов Е.В. Инфекционный вирусный перитонит кошек (обзор литературы) // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2015. № 1 (25). С. 16–23. EDN: TLXQFZ
3. Ivanova LE, Kravchenko VM. Clinical significance of anemia in feline infectious peritonitis. *Vestnik nauchno-tehnicheskogo tvorchestva molodezhi Kubanskogo GAU [Bulletin of Scientific and Technical Creativity of Youth of Kuban State Agrarian University]*. 2018;(4):26–28. (In Russ.). EDN: QNQIZL  
Иванова Л.Е., Кравченко В.М. Клиническое значение анемии при инфекционном перитоните кошек // Вестник научно-технического творчества молодежи Кубанского ГАУ. 2018. № 4. С. 26–28. EDN: QNQIZL
4. Lenskaya ES, Buguev EG. Pathomorphology of coronavirus infection in cats. *Actual problems of agriculture in mountain areas*. Gorno-Altaysk; 2021. P. 161–165. (In Russ.). EDN: TYKGSF  
Ленская Е.С., Бугуев Е.Г. Патоморфология коронавирусной инфекции у кошек // Актуальные проблемы сельского хозяйства горных территорий. Горно-Алтайск, 2021. С. 161–165. EDN: TYKGSF
5. Paltseva ED, Pleshakova VI. Coronaviruses in the population of domestic cats. *Vestnik Omsk SAU*. 2022;(1):94–101. (In Russ.). doi: 10.48136/2222-0364\_2022\_1\_94 EDN: BBEVCT  
Пальцева Е.Д., Плешакова В.И. Коронавирусы в популяции домашних кошек // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2022. № 1 (45). С. 94–101. doi: 10.48136/2222-0364\_2022\_1\_94 EDN: BBEVCT
6. Mikhailovskaya PA, Kondrashkina KM, Simonova EI, Rystsova EO. New approaches in treatment of feline infectious peritonitis virus infection. *Bulletin of Science and Practice*. 2019;5(5):210–220. (In Russ.). doi: 10.33619/2414-2948/42/29 EDN: TRGYXL  
Михайловская П.А., Кондрашкина К.М., Симонова Е.И., Рысцова Е.О. Новый подход в лечении вирусного перитонита кошек // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. № 5. С. 210–220. doi: 10.33619/2414-2948/42/29 EDN: TRGYXL
7. Kostyukova ES, Bakirova AA, Poroshin KV. Infectious peritonitis of the Felidae family. *Ehlektronnyi nauchnyi zhurnal [Electronic Scientific Journal]*. 2016;(12–1):40–42. (In Russ.). EDN: XHJWPN  
Костюкова Е.С., Бакирова А.А., Порошин К.В. Инфекционный перитонит семейства кошачьих // Электронный научный журнал. 2016. № 12–1 (15). С. 40–42. EDN: XHJWPN
8. Gribova IV, Petrova OG. Feline infectious peritonitis. *Agroprodovol'stvennaya politika Rossii [Agri-Food Policy of Russia]*. 2012;(10):60–63. (In Russ.). EDN: VOBPGH  
Грибова И.В., Петрова О.Г. Инфекционный перитонит кошек // Агропродовольственная политика России. 2012. № 10. С. 60–63. EDN: VOBPGH

9. Kravchenko VM, Ivanova LE. Epizootological features of viral cat peritonitis. In: *Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa. Krasnodar [Scientific Support of the Agro-Industrial Complex. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin]; 2019. p. 448–449. (In Russ.). EDN: OIQMIV*  
*Кравченко В.М., Иванова Л.Е. Эпизоотологические особенности вирусного перитонита кошек // Научное обеспечение агропромышленного комплекса. Краснодар : Кубанский ГАУ им. И.Т. Трубилина, 2019. С. 448–449. EDN: OIQMIV*
10. Ye ZW, Yuan S, Yuen KS, Fung SY, Chan CP, Jin DY. Zoonotic origins of human coronaviruses. *International Journal of Biological Sciences*. 2020;16(10):1686–97. doi: 10.7150/ijbs.45472
11. Drake JW, Holland JJ. Mutation rates among RNA viruses. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 1999;96(24):13910–13913. doi: 10.1073/pnas.96.24.13910
12. Woo PC, Lau SK, Lam CS, Tsang AK, Hui SW, Fan RY, et al. Discovery of seven novel mammalian and avian coronaviruses in the genus Deltacoronavirus supports bat coronaviruses as the gene source of Alphacoronavirus and Betacoronavirus and avian coronaviruses as the gene source of Gammacoronavirus and Deltacoronavirus. *Journal of Virology*. 2012;86(7):3995–4008. doi: 10.1128/jvi.06540-11
13. Bourgarel M, Pfukenyi DM, Boué V, Chidoti F, Mazarati JB, Grosbois V, et al. Circulation of Alphacoronavirus, Betacoronavirus and Paramyxovirus in *Hipposideros* bat species in Zimbabwe. *Infection, Genetics and Evolution*. 2018;58:253–257. doi: 10.1016/j.meegid.2018.01.007
14. Monchatre-Leroy E, Boué F, Boucher JM, Renault C, Sabatier P, Decors A, et al. Identification of Alpha and Beta Coronavirus in wildlife species in France: bats, rodents, rabbits, and hedgehogs. *Viruses*. 2017;9(12):364. doi: 10.3390/v9120364
15. Pan Y, Tian X, Qin P, Wang B, Zhao P, Yang YL, et al. Discovery of a novel swine enteric alphacoronavirus (SeACoV) in southern China. *Veterinary microbiology*. 2017;211:15–21. doi: 10.1016/j.vetmic.2017.09.003
16. Wan Z, Zhang Y, He Z, Zheng S, Ma C, Wang J, et al. A melting curve-based multiplex RT-qPCR assay for simultaneous detection of four human coronaviruses. *International Journal of Molecular Sciences*. 2016;17(11):1880. doi: 10.3390/ijms17111880
17. Fritz M, Rosolen B, Krafft E, Panseri S, Lecollinet S, Pozzi N, et al. High prevalence of SARS-CoV-2 antibodies in pets from COVID-19+ households. *One Health*. 2021;11:100192. doi: 10.1016/j.onehlt.2020.100192
18. Hamer SA, Pauvolid-Corrêa A, Zecca IB, Davila E, Auckland LD, Roundy CM, et al. Natural SARS-CoV-2 infections, including virus isolation, among serially tested cats and dogs in households with confirmed human COVID-19 cases in Texas, USA. *Viruses*. 2020;13(5):938. doi: 10.3390/v13050938
19. Michelitsch A, Hoffmann D, Wernike K, Lange E, Beer M, Renneker S. Occurrence of antibodies against SARS-CoV-2 in the domestic cat population of Germany. *Vaccines*. 2020;8(4):772. doi: 10.3390/vaccines8040772
20. Patterson EI, Elia G, Grassi A, Giordano A, Desario C, Medardo M, et al. Evidence of exposure to SARS-CoV-2 in cats and dogs from households in Italy. *Nature Communications*. 2020;11(1):6231. doi: 10.1038/s41467-020-20097-0
21. Shi J, Wen Z, Zhong G, Yang H, Wang C, Huang B, et al. Susceptibility of ferrets, cats, dogs, and other domesticated animals to SARS-coronavirus 2. *Science*. 2020;368(6494):1016–1020. doi: 10.1126/science.abb7015
22. Zhang Q, Zhang H, Gao J, Huang K, Yang Y, Hui X, et al. A serological survey of SARS-CoV-2 in cats in Wuhan. *Emerging Microbes and Infections*. 2020;9(1):2013–2019. doi: 10.1080/22221751.2020.1817796
23. Hosie MJ, Hofmann-Lehmann R, Hartmann K, Egberink H, Truyen U, Baechlein C, et al. Anthropogenic infection of cats during the 2020 COVID-19 pandemic. *Viruses*. 2021;13(2):185. doi: 10.3390/v13020185
24. Temmam S, Barbarino A, Maso D, Behillil S, Enouf V, Huon C, et al. Absence of SARS-CoV-2 infection in cats and dogs in close contact with a cluster of COVID-19 patients in a veterinary campus. *One Health*. 2020;10:100164. doi: 10.1016/j.onehlt.2020.100164
25. Mezentseva NI, Laptev SV. Razrabotka programm mezhlaboratornykh slichitel'nykh ispy-tanii i organizatsiya vneshnei otsenki kachestva PTSR-dagnostiki COVID-19 [Development of programs for interlaboratory comparative testing and organization of external quality assessment of PCR diagnostics of COVID-19]. *Spravochnik zavedu-yushchego KDL [Handbook of the Head of the Clinical Diagnostic Laboratory]*. 2020;(12):6–10. (In Russ.). EDN: ZQJKSC  
*Мезенцева Н.И., Лантев С.В. Разработка программ межлабораторных сравнительных испытаний и организация внешней оценки качества ПЦР-диагностики COVID-19 // Справочник заведующего КДЛ. 2020. № 12. С. 6–10. EDN: ZQJKSC*
26. Laptev SV, Mezentseva NI. Cellular and humoral defense mechanisms in coronavirus infection. *Spravochnik zavedu-yushchego KDL [Handbook of the Head of the Clinical Diagnostic Laboratory]*. 2021;(5):34–43. (In Russ.). EDN: PTCMFV

Лантев С.В., Мезенцева Н.И. Клеточные и гуморальные механизмы защиты при коронавирусной инфекции // Справочник заведующего КДЛ. 2021. № 5. С. 34–43. EDN: PTCMFV

27. Pedersen NC. A review of feline infectious peritonitis virus infection: 1963–2008. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2009;11(4):225–258. doi: 10.1016/j.jfms.2008.09.008

28. Pedersen NC, Allen CE, Lyons LA. Pathogenesis of feline enteric coronavirus infection. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2008;10(6):529–541. doi: 10.1016/j.jfms.2008.02.006

29. Tasker S, Addie DD, Egberink H, Belák S, Boucraut-Baralon C, Frymus T, et al. Feline infectious peritonitis: European Advisory Board on Cat Diseases guidelines. *Viruses*. 2023;15(9):1847. doi: 10.3390/v15091847

30. Vennema H, Poland A, Foley J, Pedersen NC. Feline infectious peritonitis viruses arise by mutation from endemic feline enteric coronaviruses. *Virology*. 1998;243(1):150–157. doi: 10.1006/viro.1998.9045

31. Malbon AJ, Michalopoulos E, Meli ML, Schwartz A, Bounous DI, Lutz H, et al. Colony stimulating factors in early feline infectious peritonitis virus infection of monocytes and in end stage feline infectious peritonitis: a combined in vivo and in vitro approach. *Pathogens*. 2020;9(11):893. doi: 10.3390/pathogens9110893

32. Fischer Y, Ritz S, Weber K, Sauter-Louis C, Hartmann K. Randomized, placebo-controlled study of the effect of propentofylline on survival time and quality of life of cats with feline infectious peritonitis. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2011;25(6):1270–1276. doi: 10.1111/j.1939-1676.2011.00806.x

33. Laptev SV, Tatarnikova NA, Sidorova KA, Novikova OV. Pathogenesis and markers of sepsis. *Transactions of Taurida Agricultural Science*. 2023;(35):182–197. (In Russ.). EDN: OBFCRQ

Лантев С.В., Татарникова Н.А., Сидорова К.А., Новикова О.В. Патогенез и маркеры сепсиса // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2023. № 35 (198). С. 182–197. EDN: OBFCRQ

34. Pigina SU, Laptev SV, Tatarnikova NA. Peculiarities of pathogenesis, diagnosis and prognosis of outcome of septic diseases of small domestic animals. *Veterinary, Zootechnics and Biotechnology*. 2024;(10):12–22. (In Russ.). doi: 10.36871/vet.zoo.bio.202410002 EDN: FEEUCL

Пигина С.Ю., Лантев С.В., Татарникова Н.А. Особенности патогенеза, диагностика и прогноз исхода септических заболеваний мелких домашних животных // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2024. № 10. С. 12–22. doi: 10.36871/vet.zoo.bio.202410002 EDN: FEEUCL

35. Laptev SV, Pimenov NV, Marzanova SN, Permyakova KU, Ivannikova R.F. Heuristic approaches to risk assessment and prognosis of sepsis in dogs. *International Journal of Veterinary Medicine*. 2023;(3):35–50. (In Russ.). doi: 10.52419/issn2072-2419.2023.3.35 EDN: TNDYPT

Лантев С.В., Пименов Н.В., Марзанова С.Н., Пермякова К.Ю., Иванникова Р.Ф. Эвристические подходы к оценкам риска и прогнозам развития сепсиса у собак // Международный вестник ветеринарии. 2023. № 3. С. 35–50. doi: 10.52419/issn2072-2419.2023.3.35 EDN: TNDYPT

36. Sparkes AH, Gruffydd-Jones TJ, Harbour DA. Feline infectious peritonitis: a review of clinicopathological changes in 65 cases, and a critical assessment of their diagnostic value. *Veterinary Record*. 1991;129(10):209–212. doi: 10.1136/vr.129.10.209

37. Delaplace M, Huet H, Gambino A, Le Poder S. Feline coronavirus antivirals: a review. *Pathogens*. 2021;10(9):1150. doi: 10.3390/pathogens10091150

38. Addie DD, Covell-Ritchie J, Jarrett O, Fosbery M. Rapid resolution of non-effusive feline infectious peritonitis uveitis with an oral adenosine nucleoside analogue and feline interferon omega. *Viruses*. 2020;12(11):1216. doi: 10.3390/v12111216

39. Dickinson PJ, Bannasch M, Thomasy SM, Murthy VD, Vernau KM, Liepnieks M, et al. Antiviral treatment using the adenosine nucleoside analogue GS-441524 in cats with clinically diagnosed neurological feline infectious peritonitis. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2020;34(4):1587–1593. doi: 10.1111/jvim.15780

40. Jones S, Novicoff W, Nadeau J, Evans S, Stuetzer B, Bannasch M. Unlicensed GS-441524-like antiviral therapy can be effective for at-home treatment of feline infectious peritonitis. *Animals (Basel)*. 2021;11(8):2257. doi: 10.3390/ani11082257

41. Murphy B, Perron M, Murakami E, Bauer L, Park Y, Knight V, et al. The nucleoside analog GS-441524 strongly inhibits feline infectious peritonitis virus in tissue culture and experimental cat infection studies. *Veterinary Microbiology*. 2018;219:226–233. doi: 10.1016/j.vetmic.2018.04.026

42. Zuzzi-Krebitz AM, Buchta K, Bergmann M, Schlottau K, Hoffmann D, Beer M, et al. Short treatment of 42 days with oral GS-441524 results in equal efficacy as the recommended 84-day treatment in cats suffering from feline infectious peritonitis with effusion: a prospective randomized controlled study. *Viruses*. 2024;16(7):1144. doi: 10.3390/v16071144

43. Voskresenskiy AA. Peculiarities of clinical picture and modern approaches to treatment of coronavirus enteritis in cats (review article). *Agrarian journal of the Upper Volga Region*. 2024;(1):38–42. (In Russ.). doi: 10.35523/2307-5872-2024-46-1-38-42 EDN: MXMVUW

Воскресенский А.А. Особенности клинической картины и современные подходы к лечению коронавирусного энтерита у кошек (обзорная статья) // *Аграрный вестник Верхневолжья*. 2024. № 1 (46). С. 38–42. doi: 10.35523/2307-5872-2024-46-1-38-42 EDN: MXMVUW

44. Malbon AJ, Fonfara S, Meli ML, Willi B, Hartmann K, Lutz H. Feline infectious peritonitis as a systemic inflammatory disease: contribution of liver and heart to the pathogenesis. *Viruses*. 2019;11(12):1144. doi: 10.3390/v11121144

45. Hartmann K. Feline infectious peritonitis. *The Veterinary clinics of North America. Small Animal Practice*. 2005;35(1):39–79. doi: 10.1016/j.cvsm.2004.10.011

46. Bauer BS, Kerr ME, Sandmeyer LS. Positive immunostaining for feline infectious peritonitis (FIP) in a Sphinx cat with cutaneous lesions and bilateral panuveitis. *Veterinary Ophthalmology*. 2013;16(Suppl 1):160–163. doi: 10.1111/vop.12044

47. Kotsyumbas GI, Khalaniia MR. Pathomorphology of cats with myocardial infectious peritonitis. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. 2019;21:177–184. doi: 10.32718/nvlvet9631

48. Repyak K, Atiee G, Cook A, Chapman M, Lee H, Burgess S, et al. Thoracic radiographic findings in cats with feline infectious peritonitis. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2025;27(2):1098612X241309823. doi: 10.1177/1098612X241309823

49. Lampejo T, Durkin SM, Bhatt N, Guttman O. Acute myocarditis: aetiology, diagnosis and management. *Clinical medicine (Lond)*. 2021;21(5): e505–510. doi: 10.7861/clinmed.2021-0121

50. Wood J, Reagan KL, Gunther-Harrington C, Sykes JE. Identification of *Streptococcus suis* in a cat with endomyocarditis. *Journal of Feline Medicine and Surgery Open Reports*. 2021;7(1):20551169211012346. doi: 10.1177/20551169211012346

51. Joseph JL, Oxford EM, Santilli RA. Transient myocardial thickening in a *Bartonella henselae*-positive cat. *Journal of Veterinary Cardiology*. 2018;20(3):198–203. doi: 10.1016/j.jvc.2018.04.003

52. Varanat M, Broadhurst J, Linder KE, Maggi RG, Breitschwerdt EB. Identification of *Bartonella henselae* in 2 cats with pyogranulomatous myocarditis and diaphragmatic myositis. *Veterinary Pathology*. 2012;49(4):608–611. doi: 10.1177/0300985811404709

53. Vercelli A, Lo Cicero E, Pazzini L. *Salmonella typhimurium* endocarditis and myocarditis in a cat. *Case Reports in Veterinary Medicine*. 2019;2019:7390530. doi: 10.1155/2019/7390530

54. Kegler K, Nufer U, Alic A, Posthaus H, Olias P, Basso W. Fatal infection with emerging apicomplexan parasite *Hepatozoon silvestris* in a domestic cat. *Parasites Vectors*. 2018;11:428. doi: 10.1186/s13071-018-2992-4

55. Elsheikha HM, Kennedy FA, Murphy AJ, et al. Sarcocystosis of *Sarcocystis felis* in cats. *Journal of the Egyptian Society of Parasitology*. 2006;36:1071–1085.

56. Romito G, Fracassi F, Cipone M. Transient myocardial thickening associated with acute myocardial injury and congestive heart failure in two *Toxoplasma gondii*-positive cats. *Journal of Feline Medicine and Surgery Open Reports*. 2022;8(2):20551169221131266. doi: 10.1177/20551169221131266

57. Simpson KE, Devine BC, Gunn-Moore D. Suspected *Toxoplasma*-associated myocarditis in a cat. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2005;7(3):203–208. doi: 10.1016/j.jfms.2004.08.004

58. Shu H, Zhao C, Wang DW. Understanding COVID-19-related myocarditis: pathophysiology, diagnosis, and treatment strategies. *Cardiology plus*. 2023;8(2):72–81. doi: 10.1097/CP9.0000000000000046

59. Ernandes MA, Cantoni AM, Armando F, Corradi A, Ressel L, Tamborini A. Feline coronavirus-associated myocarditis in a domestic longhair cat. *Journal of Feline Medicine and Surgery Open Reports*. 2019;5(1):2055116919879256. doi: 10.1177/2055116919879256

60. Ferasin L, Fritz M, Ferasin H, Becquart P, Corbet S, Ar Gouilh M, et al. Infection with SARS-CoV-2 variant B.1.1.7 detected in a group of dogs and cats with suspected myocarditis. *Veterinary Record*. 2021;189(9): e944. doi: 10.1002/vetr.944

61. Morris SB, Schwartz NG, Patel P, Abbo L, Beauchamps L, Balan S, et al. Case series of multisystem inflammatory syndrome in adults associated with SARS-CoV-2 infection — United Kingdom and United States, March–August 2020. *MMWR. Morbidity and Mortality Weekly Report*. 2020;69(40):1450–1456. doi: 10.15585/mmwr.mm6940e1

62. Yoshida T, Ichikawa N, Koike M, Saito M, Shimizu H. Two feline cases of dilated cardiomyopathy-like disease caused by feline infectious peritonitis virus. *Journal of Animal Clinical Medicine*. 2016;25:148–152. doi: 10.11252/dobutsurinshoigaku.25.148

63. Li JS, Sexton DJ, Mick N, Nettles R, Fowler VG Jr, Ryan T, et al. Proposed modifications to the Duke criteria for the diagnosis of infective endocarditis. *Clinical Infectious Diseases*. 2000;30(4):633–638. doi: 10.1086/313753

64. MacDonald KA. Infective endocarditis in dogs: diagnosis and therapy. *Veterinary clinics of North America. Small Animal Practice*. 2010;40(3):665–684. doi: 10.1016/j.cvsm.2010.03.010

65. Lakhdir S, Viall A, Alloway E, Bommer K, Fulcher M, Clary L, et al. Clinical presentation, cardiovascular findings, etiology, and outcome of myocarditis in dogs: 64 cases with presumptive antemortem diagnosis and 137 cases with postmortem diagnosis only (2004–2017). *Journal of Veterinary Cardiology*. 2020;30:44–56. doi: 10.1016/j.jvc.2020.05.003
66. Caforio ALP, Pankuweit S, Arbustini E, Basso C, Gimeno-Blanes J, Felix SB, et al. Current state of knowledge on aetiology, diagnosis, management, and therapy of myocarditis: a position statement of the European Society of Cardiology Working Group on Myocardial and Pericardial Diseases. *European Heart Journal*. 2013;34(33):2636–2648. doi: 10.1093/eurheartj/ehs210
67. Langhorn R, Willesen JL. Cardiac troponins in dogs and cats. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2015;30(1):36–50. doi: 10.1111/jvim.13801
68. Thayer V, Gogolski S, Felten S, Lappin M, Pedersen N, Hartmann K, et al. 2022 AAEP/EveryCat Feline Infectious Peritonitis diagnosis guidelines. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2022;24(10):905–933. doi: 10.1177/1098612X221118761

#### Об авторах:

*Лаптев Сергей Владимирович* — кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры эпизоотологии и организации ветеринарного дела, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: x9131078824@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-3023-6976 SPIN-код: 4867-7430

*Селина Марина Викторовна* — кандидат педагогических наук, доцент кафедры экономики и цифровизации в АПК, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: project@mgavm.ru

ORCID: 0000-0001-8201-1042 SPIN-код: 1372-2660

#### About the authors:

*LapteV Sergey Vladimirovich* — Candidate of Biology, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Epizootology and Organization of Veterinary Business, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MBA named after K.I. Skryabin, 23 Akademika Skryabina St., Moscow, 109472, Russian Federation; e-mail: x9131078824@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-3023-6976 SPIN-code: 4867-7430

*Selina Marina Viktorovna* — Candidate of Pedagogy, Associate Professor of the Department of Economics and Digitalization in the Agro-Industrial Complex, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MBA named after K.I. Skryabin, 23 Akademika Skryabina St., Moscow, 109472, Russian Federation; e-mail: project@mgavm.ru

ORCID: 0000-0001-8201-1042 SPIN-code: 1372-2660



DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-645-657

EDN CLONDN

УДК 619:617.581:636.7

Научная статья / Research article

## Методологическая основа имплантации бесцементного бедренного компонента эндопротеза тазобедренного сустава у собак

А.М. Пантюлин<sup>1</sup>  , И.Ф. Вилковський<sup>2,3</sup> <sup>1</sup>Ветеринарная клиника доктора Сотникова, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация<sup>2</sup>Сеть ветеринарных центров «МедВет», г. Москва, Российская Федерация<sup>3</sup>Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация a.pantulin@gmail.com

**Аннотация.** Тотальное эндопротезирование у собак — эффективный метод лечения различных патологий тазобедренного сустава. Однако сохраняется проблема асептической нестабильности бедренного компонента в послеоперационном периоде. Проведен анализ 227 операций с использованием российской бесцементной системы V@art, разработанной на основе швейцарской технологии KYON, но с рядом усовершенствований: монолитная конструкция ножки из титанового сплава Ti6Al4V ELI, двухзаходная конусная резьба фиксирующих винтов и оптимальный протокол их установки. Результаты демонстрируют, что модифицированный протокол установки системы V@art обеспечивает надежную остеоинтеграцию уже к 45-му дню после операции, сокращает стоимость вмешательства и минимизирует риски. Система может рассматриваться как перспективная альтернатива зарубежным аналогам в ветеринарной практике Российской Федерации.

**Ключевые слова:** эндопротезирование, ортопедия, остеоинтеграция, остеоартрит

**Вклад авторов:** Пантюлин А.М. — переработка и структурирование полученной информации, контент-анализ исследуемых данных; Вилковський И.Ф. — поиск и первичная систематизация исследуемых данных. Все авторы ознакомились с окончательной версией рукописи и одобрили ее.

**Заявление о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**История статьи:** поступила в редакцию 1 сентября 2025 г., принята к публикации 8 октября 2025 г.

**Для цитирования:** Пантюлин А.М., Вилковський И.Ф. Методологическая основа имплантации бесцементного бедренного компонента эндопротеза тазобедренного сустава у собак // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: *Агронимия и животноводство*. 2025. Т. 20. № 4. С. 645–657. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-645-657 EDN: CLONDN

© Пантюлин А.М., Вилковський И.Ф., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

# Methodological basis for implantation of a cementless femoral component in canine total hip replacement

Andrey M. Pantulin<sup>1</sup>  , Ilya F. Vilkovskiy<sup>2,3</sup> 

<sup>1</sup>Doctor Sotnikov Veterinary Clinic, Saint Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup>MedVet Veterinary Centers, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup>RUDN University, Moscow, Russian Federation

 a.pantulin@gmail.com

**Abstract.** Total hip replacement in dogs is an effective method for treating various pathologies of the hip joint. However, the problem of aseptic instability of the femoral component in the postoperative period persists. An analysis of 227 surgeries using the Russian cementless system V@art was conducted. This system was developed based on Swiss KYON technology but incorporates a number of improvements: a monolithic stem made of Ti6Al4V ELI titanium alloy, a double-lead conical thread for the fixation screws, and an optimized protocol for their placement. The results demonstrate that the modified implantation protocol for the V@art system ensures reliable osseointegration as early as 45 days postoperatively, reduces the cost of the intervention, and minimizes risks. The system can be considered a promising alternative to foreign analogues in veterinary practice within the Russian Federation.

**Keywords:** arthroplasty, orthopedics, osseointegration, osteoarthritis

**Authors' contribution:** Pantulin A.M. — processing and structuring of the obtained information, content analysis of the research data; Vilkovskiy I.F. — search and primary systematization of the research data. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interest.

**Article history:** received 1 September 2025; accepted 8 October 2025.

**For citation:** Pantulin AM, Vilkovskiy IF. Methodological basis for implantation of a cementless femoral component in canine total hip replacement. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(4):645–657. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-645-657 EDN: CLONDN

## Введение

С начала 2000-х гг. наблюдается рост количества операций тотального эндопротезирования тазобедренного сустава (ТЭТС) у собак что связано с высокой эффективностью метода в долгосрочной перспективе по сравнению с альтернативными хирургическими и консервативными подходами [1–4].

Остеоэктомия головки и шейки бедренной кости — это относительно простой и наиболее экономичный вариант [5, 6]. Однако остеоэктомия может привести к послеоперационным осложнениям, таким как укорочение конечности, атрофия мышц, уменьшение диапазона движений и постоянная хромота [7–10].

Накопленный клинический опыт и разнообразие доступных имплантов позволяют совершенствовать хирургическую технику и оптимизировать конструкцию протезов, что способствует снижению частоты интра- и послеоперационных

осложнений. Однако одной из ключевых проблем остается нестабильность бедренного компонента (ножки протеза), которая может быть обусловлена инфекционным процессом, недостаточной первичной стабильностью, ошибками в подборе размера импланта [11, 12]. Наиболее частые осложнения, о которых сообщалось от ветеринарных врачей и владельцев собак: трещины и переломы бедренных костей, расшатывание компонентов протеза, вывихи тазобедренного сустава [13–15].

Микроподвижность импланта, площадь контакта между костью и имплантом, коэффициент трения, плотность посадки (press-fit) и модуль упругости окружающей губчатой и кортикальной кости являются важными факторами, определяющими первичную стабильность между костью и имплантом [16–19]. В этой связи ключевая задача при разработке бесцементных систем — обеспечение немедленной и долговременной стабильности компонентов протеза. Различные производители решают эту задачу за счет конструктивных особенностей имплантов. При этом остается неизученным вопрос оптимального количества бикортикальных и монокортикальных винтов при фиксации бедренного компонента эндопротеза. Также не разработан алгоритм установки винтов, обеспечивающий равномерное прилегание ножки импланта к медиальной кортикальной пластинке бедренной кости, а также оценка вторичной стабильности конструкции методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии с гистоморфометрическим анализом для подтверждения формирования костного матрикса на поверхности импланта, что требует незамедлительного решения этих вопросов.

**Цель исследования** — обосновать метод фиксации бедренного компонента для обеспечения стабильной первичной остеоинтеграции.

## Материалы и методы исследования

На базе ветеринарной клиники «МедВет», Москва, Россия, за период с 01.01.2022 по 31.12.2024 г. проведено 227 операций по тотальному эндопротезированию тазобедренного сустава у собак (табл. 1) российской системой V@art.

Таблица 1

Характеристика исследуемой группы, %

| Порода                     | Вес                   | Возраст                          |
|----------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Лабрадоры – 17,6           | От 25 до 35 кг – 39,2 | Молодые пациенты до 2 лет – 42,7 |
| Немецкие овчарки – 10,1    | От 35 до 45 кг – 31,7 | От 2 до 5 лет – 29,5             |
| Золотистые ретриверы – 6,6 | До 25 кг – 12,3       | От 5 до 8 лет – 17,2             |
| Зенненхунд – 4,4           | 45 кг и более – 12,3  | Старше 8 лет – 10,6              |
| Самоедская собака – 4,4    |                       |                                  |
| Собаки других пород – 56,8 |                       |                                  |

Источник: составлено А.М. Пантюлиным, И.Ф. Вилковским.

Table 1

## Features of the study group

| Breed                      | Weight                 | Age                                      |
|----------------------------|------------------------|--|
| Labrador Retriever – 17.6% | 25 to 35 kg – 39.2%    | Young patients under 2 years old – 42.7% |
| German Shepherd – 10.1%    | 35 to 45 kg – 31.7%    | 2 to 5 years old – 29.5%                 |
| Golden Retriever – 6.6%    | Up to 25 kg – 12.3%    | 5 to 8 years old – 17.2%                 |
| Sennenhund – 4.4%          | 45 kg and over – 12.3% | Over 8 years old – 10.6%                 |
| Samoyed – 4.4%             |                        |  |
| Other breeds – 56.8%       |                        |  |

Source: compiled by A.M. Pantyulin, I.F. Vilkoviskiy.

Основные показания к тотальному эндопротезированию тазобедренного сустава: остеоартрит, дисплазия тазобедренного сустава, болезнь Легга — Кальве — Пертеса и другие дегенеративные изменения [20]. Диагноз подтверждался рентгенографическими данными (аппарат Sedecal Neovet F) или результатами компьютерной томографии (Philips Ingenuity 64). Пациенты, ранее перенесшие эндопротезирование на противоположной конечности, рассматривались в рамках отдельного клинического случая.

Для оценки остеоинтеграции костного матрикса с бедренным компонентом (ножкой) эндопротеза (рис. 2) через 45 дней после операции проводился гистоморфометрический анализ с применением сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДС). Исследование выполняли на сканирующем электронном микроскопе Zeiss EVO MA18 (Carl Zeiss Group, Германия), оснащённом энергодисперсионным спектрометром BRUKER QUANTAX 200 — XFlash 6/10 (Bruker Nano GmbH, Германия). Режим работы: ускоряющее напряжение 20 кэВ. Все исследования проведены на базе центра им. Г.А. Илизарова (Курган).

## Результаты исследования и обсуждение

Исследования явились результатом длительного поиска надёжной стабилизации импланта и поэтапной его остеоинтеграции, ведь совершенствование технологии эндопротезирования это повышение стабильности фиксации, снижение риска инфекций и улучшение биосовместимости имплантов. В этой связи, согласно клиническому опыту авторов, при соблюдении порядка введения винтов по технологии компании Куон, частота осложнений в виде асептической нестабильности ножки эндопротеза составляет 8 % (рис. 2). К рентгенологическим признакам нестабильности относятся: перелом или миграция импланта, выраженный остеолит вокруг ножки, а также периостальная и эндостальная костная реакция. Ранее для фиксации бедренного компонента (ножки) V@art размеров M и L применяли 5 винтов, включая один бикортикальный. Однако, на практике установка дисталь-

ного винта в отверстие № 5 вызывала технические трудности. После отказа от его использования, частота асептической нестабильности не возросла. Дополнительное введение второго проксимального бикортикального винта привело к значительному снижению риска нестабильности (менее 1 %), а также улучшило равномерное прилегание ножки к медиальному кортикальному слою (рис. 1).



**Рис. 1.** Послеоперационная рентгенография проекция «Йога»

Источник: составлено А.М. Пантюлиным, И.Ф. Вилковским.

**Fig. 1.** Postoperative radiography, “Yoga” projection

Source: compiled by A.M. Pantyulin, I.F. Vilkovskiy.



**Рис. 2.** Рентгенография пациента через 45 дней после тотального эндопротезирования тазобедренного сустава. Отмечается периостальная и эндостальная костная реакция вокруг бедренного компонента импланта

Источник: составлено А.М. Пантюлиным, И.Ф. Вилковским.

Источник: составлено А.М. Пантюлиным, И.Ф. Вилковским.

**Fig. 2.** Radiograph of a patient 45 days after total hip arthroplasty. Periosteal and endosteal bone reaction is noted around the femoral component of the implant.

Source: compiled by A.M. Pantyulin, I.F. Vilkovskiy.

Таким образом, система бесцементного эндопротезирования тазобедренных суставов у собак V@art разработана на основе швейцарской системы Куон и сохраняет сходные принципы установки, фиксации и подготовки бедренного канала. Однако в ней есть ряд существенных отличий (патент № 2796761<sup>1</sup>), ключевое из которых — монолитная конструкция бедренного компонента (ножки) без полых участков. Ножка протеза изготавливается методом 3D-печати из биосовместимого титанового сплава Ti6Al4V ELI, обладающего высокой прочностью, низкой плотностью и коррозионной стойкостью. Винт также выполнен из Ti6Al4V ELI,

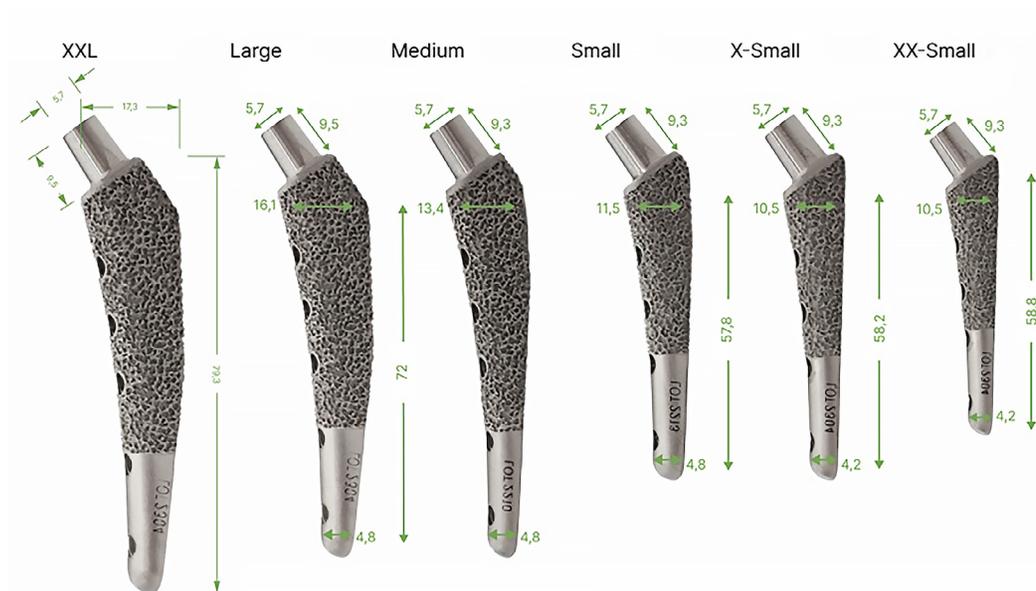
<sup>1</sup> Пат. 2796761 Российская Федерация, МПК А61F 2/34 (2006.01) А61D 1/00 (2006.01). Устройство для протезирования тазобедренного сустава у собак и кошек / И.Ф. Вилковський, Е.А. Васильева и др.; № 2022118783; заявл. 10.07.22; опубл. 29.05.2023 Бюл. № 16. 33 с.

но, в отличие от конического винта Куоп, имеет двухзаходную конусную резьбу в средней части, что обеспечивает более стабильную фиксацию в раннем послеоперационном периоде и упрощает процесс удаления при ревизионных операциях.

Размерный ряд (рис. 3)

Для средних и крупных пород доступно 6 размеров:

- XX-Small, X-Small, Small — 4 отверстия для фиксации;
- Medium, Large, XX-Large — 5 отверстий;
- Для гигантских пород (свыше 50 кг) — размер XXL с 5 отверстиями.



**Рис. 3.** Размерный ряд бедренных компонентов российской системы V@art

Источник: составлено А.М. Пантюлиным, И.Ф. Вилковским.

**Fig. 3.** Size range of femoral components of the Russian V@art system

Source: compiled by A.M. Pantyulin, I.F. Vilkovskiy.

Для повышения стабильности и уменьшения риска послеоперационных осложнений при тотальном эндопротезировании с использованием российской системы V@art применяется следующий протокол фиксации бедренного компонента.

Для ножек размеров XX-Small, X-Small и Small:

- Первым устанавливается бикортикальный винт в отверстие № 2 (с соблюдением рекомендуемого угла антеверсии и равномерного прилегания ножки к медиальному кортикальному слою).
- Затем в отверстие № 3 вводится монокортикальный винт.
- Далее в отверстие № 1 устанавливается бикортикальный винт.
- Отверстие № 4 остается свободным.

Для ножек размеров *Medium, Large и XXL*:

- Первым фиксируется бикортикальный винт в отверстие № 2.
- Следующим устанавливается монокортикальный винт в отверстие № 4.
- Затем в отверстие № 3 вводится монокортикальный винт.
- Четвертым шагом в отверстие № 1 помещается бикортикальный винт.
- Отверстие № 5 не используется, за исключением случаев сомнительной

остеоинтеграции, повышенного риска нестабильности или ревизионных операций, тогда рекомендуется задействовать 5-е дистальное отверстие.

При проведении энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии с гистоморфометрическим анализом для подтверждения формирования костного матрикса на поверхности импланта системы эндопротезирования тазобедренного сустава фирмы V@art удалось получить микрофотографии поверхности импланта на различных уровнях. Это позволило детально изучить структуру поверхности на разных участках импланта бедренного компонента.

Имплант был разделен на 6 участков для анализа:

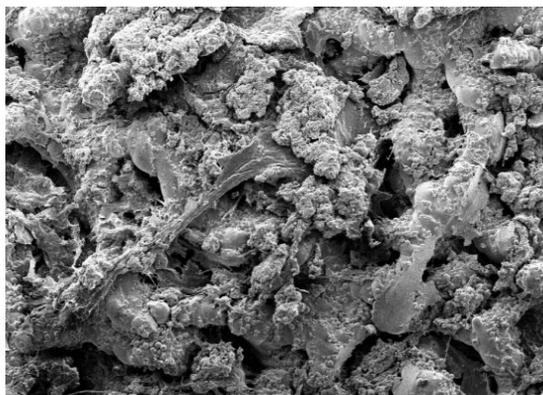
1. Проксимальная зона ближайшая к держателю головки.
2. Проксимальная часть.
3. Граница между проксимальной и средней частями.
4. Средняя часть.
5. Граница между средней и дистальной частями.
6. Дистальная часть.

Костная ткань врастает в пористую поверхность бедренного компонента (ножки) аналогично заживлению перелома: сначала реагируя на хирургическую травму, а затем прорастая в структуру импланта, архитектура которого имитирует естественную кость [13]. На полученных изображениях импланта наблюдается плотный ободок, окружающий головку ножки эндопротеза в зоне перехода к держателю головки. Его высота составляет 1 мм, поверхность мелкозернистая, шероховатая, без признаков тканевого субстрата. Структура импланта характеризуется толщиной стенок ячеек в пределах 200...350 мкм и размером ячеек 300 × 400 мкм. Полости, а также частично поверхность импланта в этой области, заполнены волокнистым субстратом. В отдельных участках металлоконструкции поверхностные структуры погружены в аморфное вещество с очагами кристаллизации. На поверхности импланта выявлены прикрепленные клетки. В зоне перехода от головной к проксимальной части отмечается образование костных трабекул (рис. 4). При большом увеличении видно, что поверхность импланта имеет шарообразные выступы диаметром 10–30 мкм, улучшает ее сцепление с тканевым матриксом.

**Результаты элементного анализа.** Распределение химических элементов на электронных картах выявило, что в ячеистых зонах перехода от головной части к держателю головки тканевой матрикс обладал преимущественно волокнистой структурой. Волокнистые образования были окружены аморфным межклеточным веществом с низкой концентрацией остеотропных элементов. При этом их содержание постепенно возрастало по направлению к границе

между проксимальной и средней частями импланта. Спектральный анализ подтвердил сниженное накопление остеотропных элементов в головных участках импланта. Однако их концентрация увеличивалась ближе к переходной зоне между проксимальным и средним отделами ножки бедренного компонента.

В области перехода от проксимальной к срединной части импланта в ячейках и на поверхности металлоконструкции наблюдался слабо- и среднеминерализованный тканевый субстрат, который проникал в поры конструкции и прикреплялся к плотным, не пористым, но шероховатым участкам вокруг отверстий. При увеличении 61× зафиксировано образование костных трабекул (рис. 5). Элементный анализ выявил повышенное содержание кальция Са и фосфора Р в этой зоне по сравнению с более проксимальными отделами (рис. 5). Однако, из-за очагового распределения тканевого субстрата титан Ti демонстрировал здесь более выраженные пиковые значения (табл. 2).



**Рис. 4.** Сканирующая электронная микроскопия различных участков головной части ножки импланта область перехода к держателю головки (плотная часть и ячеистый участок, прилегающий к ней). Увеличение: 54 ×

Источник: выполнено А.М. Пантюлиным, И.Ф. Вилковьским.

**Fig. 4.** Scanning electron microscopy of various sections of the implant stem head, the transition area to the head holder (the dense portion and the adjacent cellular area). Magnification: 54×  
Source: compiled by A.M. Pantyulin, I.F. Vilkovskiy.



**Рис. 5.** Карта элементного анализа распределения остеотропных элементов кальция Са и фосфора Р на поверхности извлеченного эндопротеза в переходной зоне между проксимальной и средней частями импланта. Увеличение: 61 ×

Источник: выполнено А.М. Пантюлиным, И.Ф. Вилковьским.

**Fig. 5.** Elemental analysis map of the distribution of osteotropic elements calcium Ca and phosphorus P on the surface of the removed endoprosthesis in the transition zone between the proximal and middle portions of the implant. Magnification: 61×

Source: compiled by A.M. Pantyulin, I.F. Vilkovskiy.

Таблица 2

**Содержание кальция Ca и фосфора P в органических структурах тканевого матрикса, сформированного на поверхности ножки импланта**

| Исследуемая область импланта             | W ± G, в весовых % |             |
|--|--------------------|-------------|
|  | Ca                 | P           |
| Проксимальная, ближе к держателю головки | 0,76 ± 0,06        | 1,03 ± 0,07 |
| Проксимальная                            | 5,39 ± 0,31        | 2,48 ± 0,20 |
| Граница проксимальной и средней части    | 7,12 ± 0,35        | 3,03 ± 0,23 |
| Средняя часть                            | 11,16 ± 0,5        | 3,74 ± 0,24 |
| Граница средней и дистальной части       | 8,26 ± 0,69        | 3,66 ± 0,41 |
| Дистальная часть                         | 2,03 ± 0,08        | 1,98 ± 0,06 |

Источник: составлено А.М. Пантюлиным, И.Ф. Вилковским.

Table 2

**Calcium (Ca) and phosphorus (P) content in the organic structures of the tissue matrix formed on the surface of the implant stem**

| Implant area being examined                  | W ± G, in weight % |             |
|--|--------------------|-------------|
|  | Ca                 | P           |
| Proximal, closer to the head holder          | 0,76 ± 0,06        | 1,03 ± 0,07 |
| Proximal                                     | 5,39 ± 0,31        | 2,48 ± 0,20 |
| Boundary of the proximal and middle portions | 7,12 ± 0,35        | 3,03 ± 0,23 |
| Middle portion                               | 11,16 ± 0,5        | 3,74 ± 0,24 |
| Boundary of the middle and distal portions   | 8,26 ± 0,69        | 3,66 ± 0,41 |
| Distal portion                               | 2,03 ± 0,08        | 1,98 ± 0,06 |

Source: compiled by A.M. Pantyulin, I.F. Vilkovskiy.

В срединной части импланта значительная поверхность была покрыта трабекулярной костной тканью, демонстрирующей средне- и мелкочаеистую структуру, что указывает на ее зрелое состояние. Костная ткань плотно интегрировала с поверхностью импланта, формируя прочное соединение.

Элементный анализ показал:

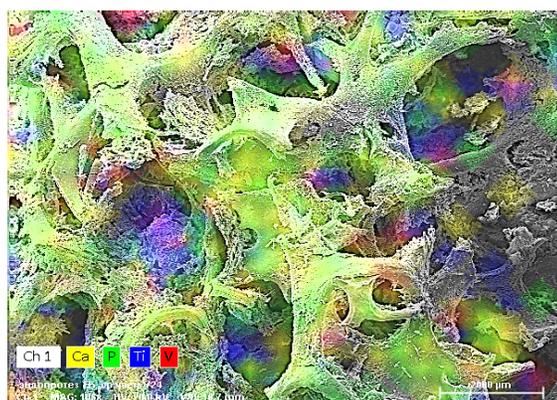
- преобладание костных структур в поле зрения (рис. 6);
- высокие концентрации кальция Ca и фосфора P, визуализируемые как салатовый цвет (результат смешения желтого и зеленого маркеров для Ca и P соответственно);
- снижение интенсивности сигнала титана Ti, что свидетельствует о практически полном покрытии поверхности костной тканью.

Переходный участок между средней и дистальной частью ножки эндопротеза отличался комбинацией прилегания пористой структуры импланта к его плотному концевому фрагменту, имеющему шероховатую структурированную поверхность. В этой области часть трабекулярной сети, образовавшейся на поверхности яче-

истого участка, соединялась с трабекулами, расположенными на поверхности металлической ножки и прочно с ней связанными.

В дистальных отделах костных структур содержание фосфора было выше, чем в средней зоне, что подтверждалось зеленоватым оттенком трабекул на элементных картах.

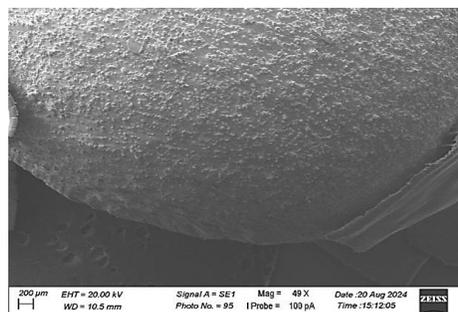
Спектральный анализ выявил уменьшение накопления сигналов кальция Са и фосфора Р в зоне перехода между пористой и плотной структурой дистального отдела эндопротеза по сравнению с центральной частью. Пиковые значения титана Тi оставались низкими из-за значительной площади костного субстрата, прикрепленного к поверхности импланта в этой области. В более дистальных участках количество сигналов остеотропных элементов (Са, Р) резко снижалось, тогда как уровень титана Тi возрастал в несколько раз. В концевой части ножки эндопротеза костной ткани обнаружено не было (рис. 7).



**Рис. 6.** Сканирующая электронная микроскопия и карта элементного анализа распределения остеотропных элементов Са и Р на поверхности извлеченного эндопротеза в срединной части ножки. Увеличение: 105х; Са – желтый; Р – зеленый; Тi – синий; V – красный  
Источник: выполнено А.М. Пантюлиным, И.Ф. Вилковским.

**Fig. 6.** Scanning electron microscopy and elemental analysis map of the distribution of osteotropic elements Ca and P on the surface of the removed endoprosthesis in the medial portion of the stem. Magnification: 105x; Ca – yellow; P – green; Ti – blue; V – red.

Source: compiled by A.M. Pantyulin, I.F. Vilkovskiy.



**Рис. 7.** Микрофото участка дистальной (концевой) части ножки импланта. Сканирующая электронная микроскопия. Увеличение: 49х.  
Отсутствие костной ткани

Источник: выполнено А.М. Пантюлиным, И.Ф. Вилковским.

**Fig. 7.** Micrograph of the distal (end) portion of the implant stem. Scanning electron microscopy. Magnification: 49x. Absence of bone tissue.

Source: compiled by A.M. Pantyulin, I.F. Vilkovskiy.

Количественный анализ распределения кальция Са и фосфора Р в различных зонах извлеченного эндопротеза показал максимальные значения в средней части импланта (см. табл.). Наименьшие концентрации были зафиксированы в проксимальном и дистальном отделах. Тем не менее, на большей части поверхности

импланта определялось содержание кальция Са и фосфора Р, соответствующее новообразованной минерализующейся костной ткани, преимущественно ретикулофиброзного строения.

## Заключение

Разработан алгоритм фиксации бедренного компонента, обеспечивающий его первичную остеоинтеграцию, заключающийся в строгой последовательности проведения бикортикальных и монокортикальных винтов. Энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия подтвердила высокую степень интеграции костной ткани в ячеистых зонах импланта, которые занимают основную часть эндопротеза. Это свидетельствует о надежном связывании ножки протеза с костным ложем уже на 45-е сутки после установки, что является ключевым фактором долгосрочной стабильности импланта (рис. 9). Использование двух бикортикальных винтов и модификация последовательности их установки помогли минимизировать нестабильность ножки в послеоперационном периоде. Уменьшение количества винтов позволило снизить общую стоимость операции и сократить объем хирургического доступа, необходимого для их установки (рис. 8).

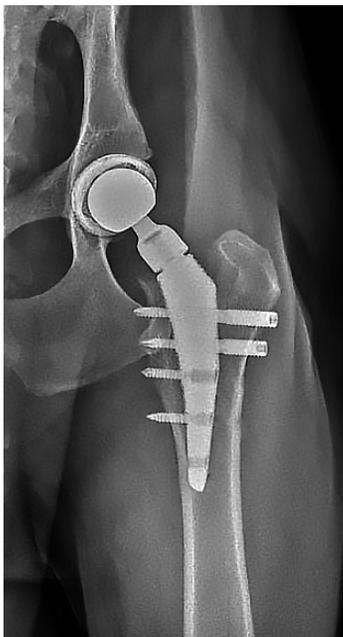


**Рис. 8.** Послеоперационная контрольная рентгенография после протезирования тазобедренного сустава с использованием двух монокортикальных и двух бикортикальных винтов. Дистальное отверстие не используется

*Источник:* составлено А.М. Пантюлиным, И.Ф. Вилковским.

**Fig. 8.** Postoperative control radiograph after hip replacement using two monocortical and two bicortical screws. The distal hole is not used.

*Source:* compiled by A.M. Pantyulin, I.F. Vilkovyskiy.



**Рис. 9.** Остеинтеграция ножки и прилегание к медиальному кортикальному слою бедренной кости на 60-е сутки после операции (пациент из рис. 8)

Источник: составлено А.М. Пантюлиным, И.Ф. Вилковским.

**Fig. 9.** Osseointegration of the stem and attachment to the medial cortex of the femur on the 60th day after surgery (patient from Fig. 8)

Source: compiled by A.M. Pantyulin, I.F. Vilkovskiy.

В результате изменения порядка и типа винтов при тотальном эндопротезировании тазобедренного сустава у собак с использованием российской системы V@art, частота осложнений, связанных с асептической нестабильностью, снизилась, этот показатель составил менее 1 % среди 227 прооперированных животных.

### Список литературы / References

1. Olmstead ML, Hohn RB, Turner TM. A five-year study of 221 total hip replacements in the dog. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 1983;183(2):191–194.
2. Montgomery RD, Milton JL, Pernel R, Aberman HM. Total hiparthroplasty for treatment of canine hip dysplasia. *The Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. 1992;22(3):703–719. doi: 10.1016/s0195-5616(92)50063-8
3. DeYoung DJ, DeYoung BA, Aberman HA, Kenna RV, Hungerford DS. Implantation of an uncemented total hip prosthesis: technique and initial results of 100 arthroplasties. *Veterinary Surgery*. 1992;21(3):168–177. doi: 10.1111/j.1532-950x.1992.tb00041.x
4. Olmstead ML. Canine cemented total hip replacements: state of the art. *Journal of Small Animal Practice*. 1995;36(9):395–399. doi: 10.1111/j.1748-5827.1995.tb02962.x
5. Gibson KL, VanEe RT, Pechman RD. Femoral capital physal fractures in dogs: 34 cases (1979–1989). *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 1991;198(5):886–890.
6. Daly WR. Femoral head and neck fractures in the dog and cat: a review of 115 cases. *Veterinary Surgery*. 1976;7(2):29–38. doi: 10.1111/j.1532-950X.1978.tb00576.x
7. Guiot LP, Dejardin LM. Fractures of the femur. In: Johnston SA, Tobias KM, eds. *Veterinary Surgery: Small Animal*. 2nd ed. St Louis, MO: Elsevier; 2018:1028–1042.

8. Harper TA. Femoral head and neck excision. *The Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice*. 2017;47(4):885–897. doi: 10.1016/j.cvsm.2017.03.002
9. DeCamp CE, Johnston SA, Déjardin LM, Schaefer SL. The hip joint. In: Brinker, Piermattei, and Flo's *Handbook of Small Animal Orthopedics and Fracture Repair*. 5th ed. St Louis, MO: Elsevier; 2016:468–517.
10. Piermattei DL. Excision arthroplasty of the hip joint in dogs and cats. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*. 2011;24(1):89.
11. Peck JN, Liska WD, DeYoung DJ, et al. Clinical application of total hip replacement. In: Peck JN, Marcellin-Little DJ, eds. *Advances in Small Animal Total Joint Replacement*. West Sussex, UK: Wiley; 2012;18.
12. Vezzoni L, Vezzoni A, Boudrieau RJ. Long-term outcome of Zürich cementless total hip arthroplasty in 439 cases. *Veterinary surgery*. 2015;44(8):921–929. doi: 10.1111/vsu.12371
13. Allaith S, Tucker LJ, Innes JF, et al. Outcomes and complications reported from a multiuser canine hip replacement registry over a 10-year period. *Veterinary Surgery*. 2023;52(2):196–208. doi: 10.1111/vsu.13885 EDN: BLRPQO
14. Henderson ER, Wills A, Torrington AM, et al. Evaluation of variables influencing success and complication rates in canine total hip replacement: results from the British veterinary orthopaedic association canine hip registry (collation of data: 2010–2012). *The Veterinary Record*. 2017;181(1):18. doi: 10.1136/vr.104036
15. Forster KE, Wills A, Torrington AM, et al. Complications and owner assessment of canine total hip replacement: a multicenter internet based survey. *Veterinary Surgery*. 2012;41(5):545–550. doi: 10.1111/j.1532-950X.2012.01015.x
16. Bragdon CR, Jasty M, Greene M, Rubash HE, Harris WH. Biologic fixation of total hip implants: Insights gained from a series of canine studies. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*. 2004;86A suppl 2:105–117.
17. Harris WH, White RE Jr, McCarthy JC, Walker PS, Weinberg EH. Bony ingrowth fixation of the acetabular component in canine hip joint arthroplasty. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 1983;(176):7–11.
18. Ramamurti BS, Orr TE, Bragdon CR, Lowenstein JD, Jasty M, Harris WH. Factors influencing stability at the interface between a porous surface and cancellous bone: a finite element analysis of a canine in vivo micromotion experiment. *Journal of Biomedical Materials Research*. 1997;36(2):274–280. doi: 10.1002/(sici)1097-4636(199708)36:2<274::aid-jbm17>3.0.co;2-g
19. Pilliar RM, Lee JM, Maniopoulos C. Observations on the effect of movement on bone ingrowth into porous-surfaced implants. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 1986;(208):108–113.
20. Kalis RH, Liska WD, Jankovits DA. Total hip replacement as a treatment option for capital physeal fractures in dogs and cats. *Veterinary Surgery*. 2012;41(1):148–155. doi: 10.1111/j.1532-950X.2011.00919.x

#### Об авторах:

*Пантюлин Андрей Михайлович* — ветеринарный врач, Ветеринарная клиника доктора Сотникова, Российская Федерация, 192288, г. Санкт-Петербург, ул. Бухарестская, д. 122, к. 2; e-mail: a.pantulin@gmail.com  
ORCID: 0009-0003-5376-0986 SPIN-код: 7305-8643

*Вилковьский Илья Фёдорович* — доктор ветеринарных наук, доцент, доцент департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; главный врач, сеть ветеринарных центров «Мед-Вет», Российская Федерация, 108840, г. Троицк, ул. Физическая, д. 13; e-mail: med-vet@bk.ru  
ORCID: 0000-0003-4552-2083 SPIN-код: 6544-1649

#### About the authors:

*Pantulin Andrey Mikhailovich* — veterinarian, Doctor Sotnikov Veterinary Clinic, 122 Bukharestskaya St, bldg. 2, Saint Petersburg, 192288, Russian Federation; e-mail: a.pantulin@gmail.com  
ORCID: 0009-0003-5376-0986 SPIN-code: 7305-8643

*Vilkovskiy Ilya Fedorovich* — Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Veterinary Medicine, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; Chief of Medicine, MedVet Veterinary Centers, 13 Physical St, Troitsk, 108840, Russian Federation; e-mail: med-vet@bk.ru  
ORCID: 0000-0003-4552-2083 SPIN-code: 6544-1649



DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-658-669

EDN CMYSMM

УДК 616–006.61-08:636.8

*Научная статья / Research article*

## Сравнительная эффективность применения мультикиназных ингибиторов при терапии плоскоклеточного рака у кошек

Б.С. Семенов  , А.В. Назарова , Т.Ш. Кузнецова 

Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины,  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация  
 [bsstepana@rambler.ru](mailto:bsstepana@rambler.ru)

**Аннотация.** Рассмотрено применение ингибиторов тирозинкиназы (ТКИ) при лечении онкологических пациентов. Плоскоклеточный рак (ПКР) — это локально-агрессивное заболевание, поражает эпителий и может быстро метастазировать в мягкие ткани и костные структуры, вызывая сильную болевую реакцию и потерю функции пораженных органов. Для проведения противораковой терапии в ветеринарной медицине применяют мультикиназные ингибиторы, например, препараты с действующим веществом тоцераниб. В современных условиях тоцераниба фосфат (коммерческий препарат Palladia) недоступен в России, и применение препаратов со схожим действием является актуальным. Цель исследования — сравнить эффективность мультикиназных ингибиторов тоцераниба и сорафениба при терапии ПКР в области головы у кошек. Объекты исследования — 30 кошек разных пород с подтвержденным диагнозом ПКР. Диагноз ставили на основании физикального осмотра и результатов гистологического и цитологического исследований. Для уточнения локализации опухоли и определения поражения лимфатических узлов проводилась компьютерная томография. Животных разделили на три группы: в группе 1 применяли препарат сорафениб, в группе 2 — тоцераниб, в 3-й (контрольной) не использовалась противораковая терапия. Некоторым животным групп 1 и 2 провели оперативное лечение по показаниям. В исследовании учитывали продолжительность жизни и время до прогрессирования. Результаты: средняя продолжительность жизни животных в 1-й группе составила  $112,4 \pm 29,1$ , во 2-й —  $98,1 \pm 18,8$ , в 3-й —  $24,2 \pm 3,6$  дня. Средняя продолжительность безрецидивного периода в 1-й группе —  $85,3 \pm 17,1$  дней, во 2-й —  $86,8 \pm 13,0$  дней. Следовательно, при терапии ПКР в области головы у кошек сорафениб показывает не меньшую эффективность, чем тоцераниб, и может заменить его на российском рынке. Кроме того, моделирование противораковой терапии у мелких домашних животных может быть использовано в гуманной медицине для апробирования протоколов лечения онкологических пациентов.

**Ключевые слова:** тоцераниб, сорафениб, продолжительность жизни, ПКР

© Семенов Б.С., Назарова А.В., Кузнецова Т.Ш., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

**Вклад авторов.** Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Заявление о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**История статьи:** поступила в редакцию 14 апреля 2025 г., принята к публикации 1 октября 2025 г.

**Для цитирования:** Семенов Б.С., Назарова А.В., Кузнецова Т.Ш. Сравнительная эффективность применения мультикиназных ингибиторов при терапии плоскоклеточного рака у кошек // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2025. Т. 20. № 4. С. 658–669. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-658-669 EDN: CMYSMM

## Comparative efficacy of multikinase inhibitors in the treatment of squamous cell carcinoma in cats

Boris S. Semenov  , Anna V. Nazarova , Tatyana Sh. Kuznetsova 

Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, Saint Petersburg, Russian Federation  
 [anna.v.nazarova@mail.ru](mailto:anna.v.nazarova@mail.ru)

**Abstract.** The use of tyrosine kinase inhibitors (TKIs) in the treatment of oncological patients is reviewed. Feline oral squamous cell carcinoma (FO SCC) is locally aggressive disease affecting the epithelium. It can rapidly metastasise to soft tissues and bone structures, causing severe pain and loss of function in affected organs. Recently, tyrosine kinase inhibitors, for example, drugs with active substance toceranib were used for the implementation of anti-cancer treatment in veterinary medicine. Currently, toceranib phosphate (commercial drug Palladia) is unavailable in Russia, making the use of drugs with similar mechanisms of action highly relevant. The aim of the study was to compare the efficacy of toceranib and sorafenib tyrosine kinase inhibitors in the treatment of FO SCC. The object of the study was 30 cats of different breeds with confirmed FO SCC. The diagnosis was established based on physical examination and results of cytological and histological studies. Computer tomography (CT) was performed to determine tumour localisation and lymph node involvement. The animals were divided into three groups: group 1 received sorafenib, group 2 received toceranib, and group 3 (control) received no anticancer therapy. Some cats in groups 1 and 2 underwent surgical treatment as indicated. The study assessed overall survival time and time to progression. According to the results of the study, the average life expectancy of animals in group 1 was  $112.4 \pm 29.1$  days, in 2 —  $98.1 \pm 18.8$  days, in 3 —  $24.2 \pm 3.6$  days. The average duration of the non-recurrence period in the group 1 is  $85.3 \pm 17.1$  days, in the group 2 —  $86.8 \pm 13.0$  days. Therefore, In the treatment of head-region SCC in cats, sorafenib demonstrates efficacy comparable to that of toceranib and may serve as a substitute on the Russian market. Moreover, modelling anticancer therapy in small companion animals may inform the development of treatment protocols for human oncological patients.

**Key words:** feline cancer, feline oral squamous cell carcinoma, FO SCC, Toceranib phosphate, Palladia, Sorafenib, life expectancy

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Author contributions.** All authors have made an equivalent contribution to the article.

**Article history:** received 14 April 2025; accepted for publication 1 October 2025.

**For citation:** Semenov BS, Nazarova AV, Kuznetsova TSh. Comparative efficacy of multikinase inhibitors in the treatment of squamous cell carcinoma in cats. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(4):658–669. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-658-669 EDN: CMYSMM

## Введение

Опухоли в области головы относительно часто диагностируются у животных. Наиболее распространено как у кошек, так и у собак злокачественное новообразование полости рта эпителиального происхождения — плоскоклеточный рак (ПКР) (*squamous cell carcinoma*) [1, 2]. ПКР относится к локально-агрессивным заболеваниям, возникая в эпителии, достаточно быстро инвазирует окружающие мягкие и подлежащие костные структуры, вызывая сильную боль и потерю функции поглощения корма, вызывая изъязвление ротовой полости и, в некоторых случаях, патологические переломы. У 20 % пациентов на момент постановки диагноза обнаруживаются регионарные или отдаленные метастазы. В случае, если опухоль не затрагивает миндалины и при постановке диагноза не выявлено метастазирование, методом выбора при ПКР является хирургическое удаление пораженного участка с широким захватом тканей, благодаря чему удается достичь длительной ремиссии. Однако, нередко (особенно у кошек) радикальное удаление опухоли невозможно. Причинами могут быть инвазивный рост опухоли и/или ее расположение. В этом случае необходимо проведение медикаментозной терапии.

Революция в терапии раковых заболеваний произошла с появлением в 1997 г. первого препарата, созданного на принципиально новой научной основе — таргетного препарата Ритуксимаб, разработанного для лечения В-клеточной неходжкинской лимфомы человека. С этого момента происходит постоянный поиск как новых препаратов, так и мишеней для их применения. Тоцераниб — ветеринарный препарат, который воздействует на рецепторы фактора роста эндотелия сосудов (VEGFR), фактора роста тромбоцитов (PDGFR), фактора стволовых клеток С-KIT, эффективно ингибирует митоген-активируемый протеинкиназный путь (MAPK) и индуцирует апоптоз [3]. Изначально тоцераниба фосфат был лицензирован для лечения мастоцитом у собак [4, 5]. Однако дальнейшие исследования и систематический обзор доказательств применения тоцераниба у животных с новообразованиями, не связанными с тучными клетками, показали, что тоцераниб может быть эффективен при разных опухолях [6], в т.ч. саркомах [7], аденокарциномах [8], глиомах [9]. В обзоре Ž. Žagar [10] систематизированы 193 исследования, проведенные по экспрессии тирозинкиназ в опухолевых и неопухолевых тканях домашних кошек, а также по использованию TKI у домашних кошек *in vitro* / *in vivo*.

Сорафениб — низкомолекулярный мультикиназный ингибитор, который воздействует на серин/треониновые и тирозинкиназы, включая семейство RAF-киназ, VEGFR-2 и PDGFR. Активно проводятся исследования системной фармакокинетики и определение переносимой пероральной дозы сорафениба у животных с опухолями [11, 12]. Сорафениб воздействует на серин-треониновую киназу RAF (*Rapidly Accelerated Fibrosarcoma*), рецепторы фактора роста эндотелия сосудов VEGFR-1, VEGFR-2, VEGFR-3, рецепторы фактора роста тромбоцитов PDGFR-β, KIT [13, 14].

Как видно из списка целевых точек тоцераниба и сорафениба, спектр действия у обоих препаратов во многом совпадает. Но препарат Palladia (действующее вещество тоцераниб) недоступен в России. При этом коммерческие препараты

с действующим веществом сорафениб, такие как Сорафениб (производитель АО «ФАРМАСИНТЕЗ-НОРД», Россия), Сорафениб-Натив (производитель Nativa, Россия) доступны для приобретения.

**Цель исследования** — сравнение эффективности мультикиназных ингибиторов тоцераниба и сорафениба при терапии плоскоклеточного рака в области головы у кошек.

## Материалы и методы исследования

Исследование проводилось на базе Санкт-Петербургского государственного университета ветеринарной медицины и сети ветеринарных клиник «ВЕГА» г. Санкт-Петербурга.

В период с 2022 по 2025 г. мы изучили истории болезней кошек, у которых был диагностирован ПКР.

Критерии включения в исследование: основной диагноз *squamous cell carcinoma* подтвержден результатами морфологического исследования (цитологического и/или гистологического), животное было доступно для наблюдения весь период исследования.

Контрольными точками исследования приняты:

1) *продолжительность жизни (median survival time, MST)* (от первичного приема до смерти животного);

2) *время до прогрессирования (median time to progression, MTP)* для прооперированных животных (от момента операции до появления признаков рецидивирования или метастатического поражения).

Рассмотрены истории болезней 98 кошек (*Felis catus*) разных пород и беспородных, в исследование включили 30 животных, которые соответствовали критериям отбора. Животных распределили по трем группам:

- группа 1 (группа сорафениба): десять кошек, которым для терапии применяли сорафениб в дозировке 5 мг/кг два раза в день за два часа до еды. Восемь кошек из этой группы прооперированы;

- группа 2 (группа тоцераниба): девять кошек, которым для терапии применяли тоцераниба фосфат (коммерческий препарат Palladia) в средней дозе 2,5 мг/кг (диапазон 1,6...3,5 мг/кг) три раза в неделю. Пять кошек из этой группы прооперированы;

- группа 3 (контрольная группа): 11 кошек, владельцы которых отказались от специфической противораковой терапии, включая оперативное вмешательство.

Новообразования выявляли при физикальном осмотре и с помощью методов инструментальной диагностики. Компьютерная томография (КТ) выполнялась на компьютерном томографе Philips MX 16 (Китай). Внутривенное контрастирование проводили с использованием препарата Омнипак 350 мг.

Морфологический диагноз ставили на основании результатов цитологического и гистологического исследований. Цитологические исследования проводили в лаборатории клиники «ВЕГА» по сертифицированным методикам; гистологические

исследования — в лабораториях СУТОВЕТ и «ПОИСК» по сертифицированным методикам.

Уровень значимости приняли равным 99 % ( $p = 0,01$ ). Статистическую обработку полученных данных выполнили в программе BioStat, AnalystSoft Inc., версия 7. Для сравнения продолжительности жизни и времени до прогрессирования у животных трех групп мы применили ранговый U-критерий Манна — Уитни (*Mann — Whitney U Test*), который подходит для оценки малых выборок.

## Результаты исследования и обсуждение

30 исследуемых кошек, у которых морфологически подтвержден диагноз ПКР, имели исходные данные, представленные в табл. 1, с указанием 95%-го доверительного интервала (95% ДИ).

Таблица 1

Данные пациентов

| Показатель                                    | Группа                            |                                   |                                   |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|   | 1 (сорafenиб)                     | 2 (тоцераниб)                     | 3 (контроль)                      |
| Количество животных                           | 10                                | 9                                 | 11                                |
| Вид животных                                  | <i>Felis catus</i>                | <i>Felis catus</i>                | <i>Felis catus</i>                |
| Пол животных                                  | Самцов 7 (70 %)<br>Самок 3 (30 %) | Самцов 7 (78 %)<br>Самок 2 (22 %) | Самцов 8 (73 %)<br>Самок 3 (27 %) |
| Средний возраст<br>(95% ДИ для возраста)      | 12,1 лет<br>(9,9–14,3 лет)        | 10,4 лет<br>(9,3–11,6 лет)        | 7,5 лет<br>(5,5–9,6 лет)          |
| Средняя масса тела<br>(95% ДИ для массы тела) | 4,9 кг<br>(3,0...6,7 кг)          | 5,0 кг<br>(3,8...6,2 кг)          | 4,5 кг<br>(3,2...5,8 кг)          |

Источник: выполнено Б.С. Семеновым, А.В. Назаровой, Т.Ш. Кузнецовой.

Table 1

Patient data

| Indicator                                    | Group                            |                                  |                                  |
|--|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
|  | 1 (sorafenib)                    | 2 (toceranib)                    | 3 (control)                      |
| Number of animals                            | 10                               | 9                                | 11                               |
| Animal species                               | <i>Felis catus</i>               | <i>Felis catus</i>               | <i>Felis catus</i>               |
| Animal gender                                | Males 7 (70%)<br>Females 3 (30%) | Males 7 (78%)<br>Females 2 (22%) | Males 8 (73%)<br>Females 3 (27%) |
| Mean age<br>(95% CI for age)                 | 12,1 years<br>(9,9–14,3 years)   | 10,4 years<br>(9,3–11,6 years)   | 7,5 years<br>(5,5–9,6 years)     |
| Mean body weight<br>(95% CI for body weight) | 4,9 kg<br>(3,0...6,7 kg)         | 5,0 kg<br>(3,8...6,2 kg)         | 4,5 kg<br>(3,2...5,8 kg)         |

Source: compiled by B.S. Semenov, A.V. Nazarova, T.Sh. Kuznetsova.

Как мы видим из табл. 1, группы сопоставимы по возрасту и весу кошек.

Породной предрасположенности у животных не установлено, наблюдается преобладание самцов во всех группах, однако в силу небольших выборок вывод о предрасположенности самцов к развитию ПКР сделать нельзя.

Предварительный диагноз ставился на основании клинического осмотра и результатов цитологического исследования биоптатов, полученных методом тонкоигольной биопсии (ТИБ) (рис. 1).



**Рис. 1.** Поражение щеки (кот, 11 лет, контрольная группа)

Источник: фото выполнено Б.С. Семеновым, А.В. Назаровой, Т.Ш. Кузнецовой.

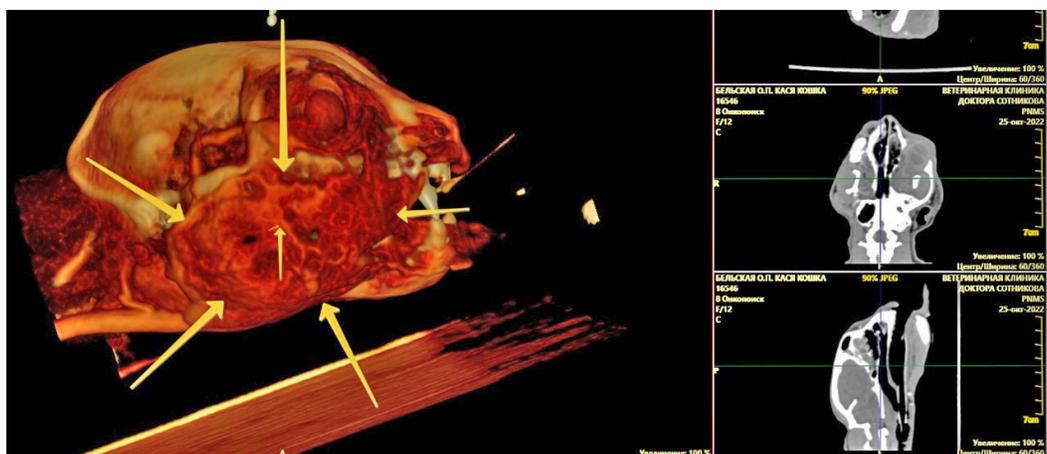
**Fig. 1.** Cheek lesion (cat, 11 years old, control group)

Source: compiled by B.S. Semenov, A.V. Nazarova, T.Sh. Kuznetsova.

Цитологическое заключение (животное на рис. 1): цитологический препарат высокого цитоза. В препарате представлены клетки округлой, слабо полигональной и слабо хвостатой формы. Клетки представлены разрозненно, пластами, с выраженными признаками напластования, псевдоацинарными и шароподобными структурами. Ядра преимущественно округлой формы, расположены эксцентрично, среднего и преимущественно крупного размера. Рисунок хроматина мелкозернистый, не равномерно расположен по ядру. Ядерная мембрана преимущественно ровная. В ядрах визуализируются преимущественно единичные крупные нуклеолы, а также множественные укрупненные нуклеолы. Цитоплазма округлая, слабо полигональная, слабо хвостатая, серо-базофильная, базофильная, слабо базофильная, не равномерно окрашенная, у 10 % округлых клеток пылевидные гранулы, более вероятно меланин. ЯЦО сдвинуто в сторону ядра. В препарате представлены единичные двоядерные и многоядерные клетки округлой формы. Анизоцитоз и анизокариоз выражены. В препарате представлено среднее количество дегенеративных и недегенеративных сегментоядерных нейтрофилов, единичные малые лимфоциты. Фон препарата — эритроциты, гемодилюция. Заключение цитолога:

цитологическая картина препарата характерна для развития злокачественного эпителиального новообразования. Высока вероятность развития плоскоклеточного неороговевающего рака.

Всем животным из групп 1 и 2 выполнили КТ головы с неселективной ангиографией с контрастом (рис. 2). В контрольной группе КТ была проведена шести животным из одиннадцати.



**Рис. 2.** Томограмма кошки из группы 1 (стрелками указана локализация опухоли)

Источник: выполнено Б.С. Семеновым, А.В. Назаровой, Т.Ш. Кузнецовой.

**Fig. 2.** Tomography of a cat from group 1 (arrows indicate tumor location)

Source: compiled by B.S. Semenov, A.V. Nazarova, T.Sh. Kuznetsova.

Локализация опухоли, наличие поражения лимфатических узлов и проведение операций описаны в табл. 2.

Таблица 2

**Локализация опухоли, поражение лимфатических узлов у кошек (*Felis catus*) разных групп**

| Показатель  | Группа               |                      |                    |
|---|----------------------|----------------------|--------------------|
|   | 1 (сорафениб)        | 2 (тоцераниб)        | 3 (контроль)       |
| Количество животных   | 10                   | 9                    | 11                 |
| Локализация опухоли в области нижней челюсти / из них прооперировано                        | 2 (20 %) / 2 (100 %) | 5 (56 %) / 5 (100 %) | 1 (9 %) / 0 (0 %)  |
| Локализация опухоли в области верхней челюсти, щеки, скуловой кости / из них прооперировано | 6 (60 %) / 4 (67 %)  | 2 (22 %) / 0 (0 %)   | 8 (73 %) / 0 (0 %) |
| Локализация опухоли в ротоглотке / из них прооперировано                                    | 2 (20 %) / 0 (0 %)   | 2 (22 %) / 0 (0 %)   | 2 (18 %) / 0 (0 %) |
| Поражение лимфатических узлов / из них прооперировано                                       | 2 (20 %) / 1 (50 %)  | 2 (22 %) / 0 (0 %)   | 2 (18 %) / 0 (0 %) |

Источник: составлено Б.С. Семеновым, А.В. Назаровой, Т.Ш. Кузнецовой.

Table 2

Tumor localization, lymph node involvement in cats (*Felis catus*) of different groups

| Indicator   | Group              |                    |                  |
|---|--------------------|--------------------|------------------|
|   | 1 (sorafenib)      | 2 (toceranib)      | 3 (control)      |
| Number of animals   | 10                 | 9                  | 11               |
| Tumor localization in the lower jaw / of which underwent surgery                            | 2 (20%) / 2 (100%) | 5 (56%) / 5 (100%) | 1 (9%) / 0 (0%)  |
| Tumor localization in the upper jaw, cheek, and zygomatic bone / of which underwent surgery | 6 (60%) / 4 (67%)  | 2 (22%) / 0 (0%)   | 8 (73%) / 0 (0%) |
| Tumor localization in the oropharynx / of which underwent surgery                           | 2 (20%) / 0 (0%)   | 2 (22%) / 0 (0%)   | 2 (18%) / 0 (0%) |
| Lymph node involvement / of which underwent surgery   | 2 (20%) / 1 (50%)  | 2 (22%) / 0 (0%)   | 2 (18%) / 0 (0%) |

Source: compiled by B.S. Semenov, A.V. Nazarova, T.Sh. Kuznetsova.

В группе 1 прооперировали всех животных с поражением нижней челюсти и 67 % кошек с поражением в области верхней челюсти, щеки, скуловой кости (рис. 3). В группе 2 были прооперированы все животные с поражением нижней челюсти, животным с поражением в области верхней челюсти, щеки, скуловой кости оперативное вмешательство не проводилось. В контрольной группе не было прооперированных животных.



**Рис. 3.** Интраоперационная фотография: закрытие дефекта после удаления новообразования в области щеки

Источник: сделано Б.С. Семеновым, А.В. Назаровой, Т.Ш. Кузнецовой.

**Fig. 3.** Intraoperative photo: closure of the defect after removal of the neoplasm in the cheek area

Source: compiled by B.S. Semenov, A.V. Nazarova, T.Sh. Kuznetsova.

В группе 1 шесть кошек умерли естественной смертью, три кошки были гуманно эвтаназированы, и одно животное погибло при анестезии. В группе 2 пять кошек умерли естественной смертью, четыре кошки были гуманно эвтаназированы. Все животные из контрольной группы были гуманно эвтаназированы в связи с ухудшением состояния.

Животные группы 1 получали сорафениб в дозировке 5 мг/кг перорально два раза в день за два часа до еды.

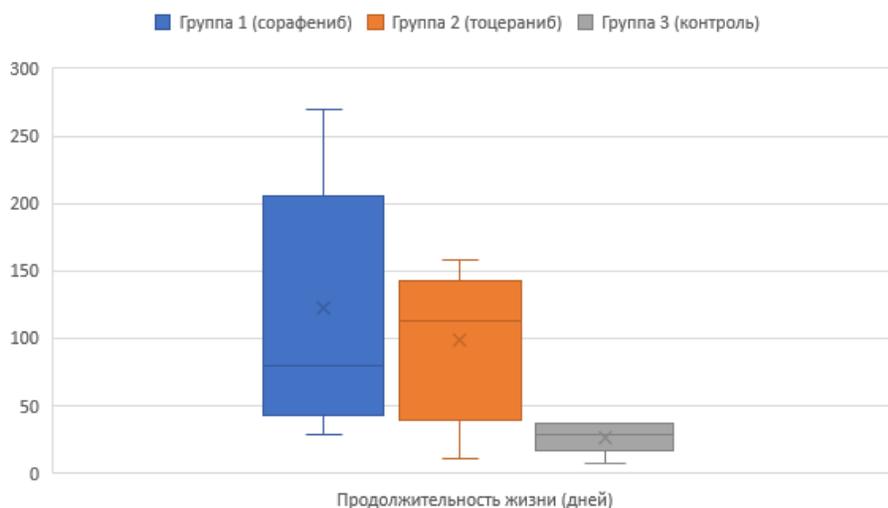
Животные группы 2 получали тоцераниба фосфат (коммерческий препарат Palladia) в средней дозе 2,5 мг/кг (диапазон 1,6...3,5 мг/кг) три раза в неделю.

Средняя продолжительность *безрецидивного периода* (для прооперированных животных) в группе 1 составила 85,3 дня (95% ДИ 44,8–125,7 дней), *медиана безрецидивного периода* 94 дня (16–137 дней). *Средняя продолжительность жизни* в группе 1 составила 112,4 дней (95% ДИ 46,0–178,8 дней), *медиана продолжительности жизни* 79 дней (28–270 дней).

Средняя продолжительность *безрецидивного периода* (для прооперированных животных) в группе 2 составила 86,8 дней (95% ДИ 50,7–122,9 дней), *медиана безрецидивного периода* 89 дней (38–109 дней). *Средняя продолжительность жизни* в группе 2 составила 98,1 дней (95% ДИ 54,7–141,5 дней), *медиана продолжительности жизни* 113 дней (10–158 дней).

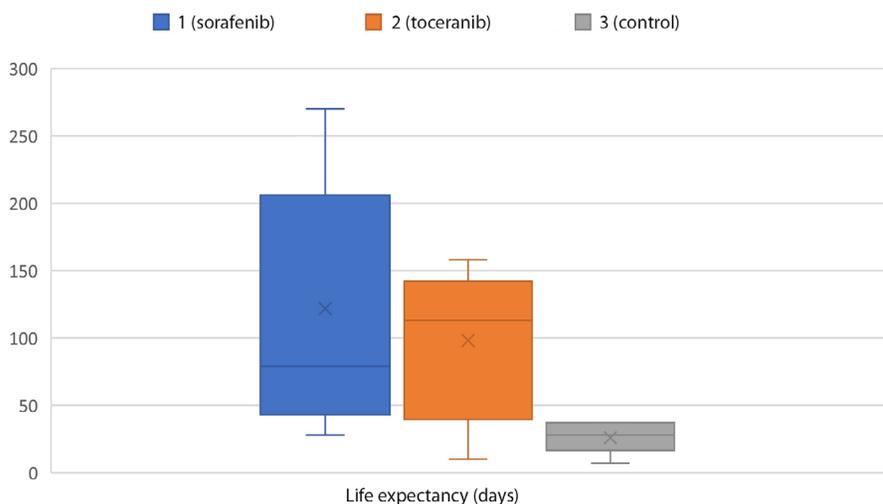
*Средняя продолжительность жизни* в группе 3 составила 24,2 дня (95% ДИ 16,2–32,2 дня), *медиана продолжительности жизни* 27 дней (7–37 дней).

В графическом виде эти данные представлены на диаграмме (рис. 4).



**Рис. 4.** Диаграмма размаха («ящик с усами») для продолжительности жизни животных трех групп: медиана значения показана чертой внутри «ящика»

Источник: сделано Б.С. Семеновым, А.В. Назаровой, Т.Ш. Кузнецовой.



**Fig. 4.** The box-and-whiskers diagram for the survival time of animals of three groups: the median value is shown by a line inside the “box”

Source: compiled by B.S. Semenov, A.V. Nazarova, T.Sh. Kuznetsova.

Данные, полученные в группе тоцераниба, совпадают с данными исследования применения тоцераниба фосфата при лечении ПКР полости рта у кошек (FOSCC) V. Wiles [15], в котором средняя продолжительность жизни кошек, получавших тоцераниб, составила 123 дня.

Сравнение продолжительности безрецидивного периода и продолжительности жизни животных группы 1 (сорафениб) и группы 2 (тоцераниб) с помощью критерия Манна — Уитни не выявило статистически значимого отличия.

## Заключение

Согласно данным статистического анализа, продолжительность жизни животных группы 1 (сорафениб) и группы 2 (тоцераниб) статистически значимо отличается от продолжительности жизни животных контрольной группы (группа 3). Средняя продолжительность жизни ( $\pm$  ошибка среднего) животных в группе 1 составила  $112,4 \pm 29,1$  дней, в группе 2 —  $98,1 \pm 18,8$  дней, в группе 3 —  $24,2 \pm 3,6$  дня. Средняя продолжительность безрецидивного периода ( $\pm$  ошибка среднего) в группе 1 была  $85,3 \pm 17,1$  дней, в группе 2 —  $86,8 \pm 13,0$  дней. Таким образом, применение сорафениба при терапии ПКР в области головы у кошек показывает не меньшую клиническую эффективность, чем применение тоцераниба. Следовательно, сорафениб может заменить его на российском рынке.

В связи с тем, что причины возникновения онкологических патологий чрезвычайно разнообразны как у человека, так и у животных, то моделирование про-

тивораковой терапии у мелких домашних животных может быть использовано в гуманной медицине для апробирования протоколов лечения онкологических пациентов.

## Список литературы / References

1. Minochkina ES, Tsiulina EP. Diagnosis and treatment of oral squamous cell carcinoma in cats. *Proceedings of the twelfth International Interuniversity Conference on Clinical Veterinary Medicine in Partners format: conference proceedings, Moscow, November 17–18, 2022*. Moscow: Agricultural Technologies, 2022, pp. 162–169. EDN: XXDWJC  
Миночкина Е.С., Циулина Е.П. Диагностика и лечение плоскоклеточного рака ротовой полости у кошек // Сборник научных трудов двенадцатой Междунар. межвуз. конф. по клинической ветеринарии в формате Partners : материалы конф., Москва, 17–18 ноября 2022 г. М. : Сельскохозяйственные технологии, 2022. С. 162–169. EDN: XXDWJC
2. Katt WP, Balkam CE, Butler SD, et al. The MEK inhibitor trametinib is effective in inhibiting the growth of canine oral squamous cell carcinoma. *Scientific Reports*. 2025;15(1):7069. doi: 10.1038/s41598-025-90574-3 EDN: LZNHXY
3. Lee JY, Bae K, Kim JH, Han HJ, Yoon HY, Yoon KA. Establishment and characterization of six canine hepatocellular carcinoma cell lines. *Frontiers in Veterinary Science*. 2024;11:1392728. doi: 10.3389/fvets.2024.1392728 EDN: LSXWZO
4. Thamm DH, Weishaar KM, Charles JB, Ehrhart EJ 3rd. Phosphorylated KIT as a predictor of outcome in canine mast cell tumours treated with toceranib phosphate or vinblastine. *Veterinary and Comparative Oncology*. 2020;18(2):169–175. doi: 10.1111/vco.12525
5. Martin TW, Prebble A, Leary D. Superficial kilovoltage x-ray radiotherapy for the treatment of cutaneous mast cell tumors on the head in three dogs and one cat: a limited retrospective case series. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2023;261(9):1–6. doi: 10.2460/javma.23.02.0080
6. Frezoulis P, Harper A. The role of toceranib phosphate in dogs with non-mast cell neoplasia: a systematic review. *Veterinary and Comparative Oncology*. 2022;20(2):362–371. doi: 10.1111/vco.12799 EDN: ZZLOQO
7. Aluai-Cunha C, Matos A, Amorim I, Carvalho F, Rêma A, Santos A. Immunohistochemical expression of platelet-derived growth factor receptor  $\beta$  (PDGFR- $\beta$ ) in canine cutaneous peripheral nerve sheath tumors: a preliminary study. *Veterinary Sciences*. 2022;9(7):345. doi: 10.3390/vetsci9070345 EDN: TNIKON
8. Yamazaki H, Tanaka T, Mie K, Nishida H, Miura N, Akiyoshi H. Assessment of postoperative adjuvant treatment using toceranib phosphate against adenocarcinoma in dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2020;34(3):1272–1281. doi: 10.1111/jvim.15768 EDN: VCTIQW
9. Hidalgo Crespo E, Farré Mariné A, Pumarola I Battle M, Borrego Massó JF, Luján Feliu-Pascual A. Survival time after surgical debulking and temozolomide adjuvant chemotherapy in canine intracranial gliomas. *Veterinary Sciences*. 2022;9(8):427. doi: 10.3390/vetsci9080427 EDN: NWVPZG
10. Žagar Ž, Schmidt JM. A scoping review on tyrosine kinase inhibitors in cats: current evidence and future directions. *Animals*. 2023;13(19):3059. doi: 10.3390/ani13193059 EDN: GFFERI
11. Foskett A, Manley C, Naramore R, Gordon IK, Stewart BM, Khanna C. Tolerability of oral sorafenib in pet dogs with a diagnosis of cancer. *Veterinary Medicine: Research and Reports*. 2017;8:97–102. doi: 10.2147/VMRR.S149678
12. Cawley JR, Stewart SD, Mochel JP, Veluvolu S, Khanna C, Fenger JM. pharmacokinetic exposures associated with oral administration of sorafenib in dogs with spontaneous tumors. *Frontiers in Veterinary Science*. 2022;9:888483. doi: 10.3389/fvets.2022.888483
13. Yokota S, Yonezawa T, Momoi Y, Maeda S. Sorafenib inhibits tumor cell growth and angiogenesis in canine transitional cell carcinoma. *The Journal of Veterinary Medical Science*. 2022;84(5):666–674. doi: 10.1292/jvms.21-0478 EDN: DQWYRX
14. Vicente IST, de Moura FBC, Rozolen JM, Dos Anjos DS, Sobral RA, Alves CEF. Analysis of VEGFR-2 and PDGFR- $\beta$  expression in canine splenic hemangiosarcoma to identify drug repositioning candidates. *Brazilian Journal of Veterinary Medicine*. 2024;46:e001524. doi: 10.29374/2527-2179.bjvm001524
15. Wiles V, Hohenhaus A, Lamb K, Zaidi B, Camps-Palau M, Leibman N. Retrospective evaluation of toceranib phosphate (Palladia) in cats with oral squamous cell carcinoma. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2017;19(2):185–193. doi: 10.1177/1098612X15622237

**Об авторах:**

*Семенов Борис Степанович* — доктор ветеринарных наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, Российская Федерация, 196084, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Черниговская, д. 5; e-mail: bsstepana@rambler.ru

ORCID: 0000-0003-0149-9360 SPIN-код: 3640-3949

*Назарова Анна Вениаминовна* — кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры общей, частной и оперативной хирургии, Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, Российская Федерация, 196084, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Черниговская, д. 5; e-mail: anna.v.nazarova@mail.ru

ORCID: 0000-0003-4726-6204 SPIN-код: 8388-6880

*Кузнецова Татьяна Шамильевна* — кандидат биологических наук, доцент кафедры генетических и репродуктивных биотехнологий, Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, Российская Федерация, 196084, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Черниговская, д. 5; e-mail: kuznett@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-8981-0696 SPIN-код: 1240-5278

**About the authors:**

*Semenov Boris Stepanovich* — Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, 5 Chernigovskaya St., Saint Petersburg, 196084, Russian Federation; e-mail: bsstepana@rambler.ru

ORCID: 0000-0003-0149-9360 SPIN-code: 3640-3949

*Nazarova Anna Veniaminovna* — Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Department of General, Special, and Operative Surgery, Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, 5 Chernigovskaya St., Saint Petersburg, 196084, Russian Federation; e-mail: anna.v.nazarova@mail.ru

ORCID: 0000-0003-4726-6204 SPIN-code: 8388-6880

*Kuznetsova Tatyana Shamilevna* — Candidate of Biology, Associate Professor, Department of Genetic and Reproductive Biotechnology, Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, 5 Chernigovskaya St., Saint Petersburg, 196084, Russian Federation; e-mail: kuznett@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-8981-0696 SPIN-code: 1240-5278



DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-670-680

EDN CNBPMU

УДК 615.015.8+615.322:579.842.11

Научная статья / Research article

## Влияние родиолы розовой и левзеи сафлоровидной на резистентность *E. coli* к антибиотикам

И.С. Шульга , М.Е. Остякова  

Дальневосточный зональный научно-исследовательский ветеринарный институт,  
г. Благовещенск, Российская Федерация  
 dalznividv@mail.ru

**Аннотация.** Бактерии постоянно эволюционируют, становясь устойчивыми к антибиотикам. Резистентность к антибиотикам является сложной проблемой, возникающей в результате адаптивных способностей бактерий и их быстрого распространения между микроорганизмами, что делает лечение инфекций все более сложным. *Escherichia coli* — бактерия семейства *Enterobacteriaceae* — имеет клиническую и эпидемиологическую значимость. Бактерия является одним из резервуаров генов устойчивости к антибиотикам и по этой причине отнесена Всемирной организацией здравоохранения к числу возбудителей инфекций, представляющих угрозу для общественного здравоохранения. Растительные лекарственные средства и их компоненты обладают свойствами изменять устойчивость микроорганизмов к антимикробным препаратам. Влияние растительных адаптогенов на устойчивость микроорганизмов к антибиотикам недостаточно изучено. Проведено *in vitro* исследование воздействия родиолы розовой и левзеи сафлоровидной на уровень чувствительности *Escherichia coli* к различным антимикробным препаратам. Культуры *Escherichia coli* получили от телят с симптомами острых кишечных заболеваний. Определили чувствительность к 12 противомикробным препаратам из пяти групп, включая пенициллины, карбапенемы, цефалоспорины, аминогликозиды и фторхинолоны. Влияние родиолы розовой и левзеи сафлоровидной изучали путем соинкубирования культур *Escherichia coli* с отваром корней адаптогенов с последующим пересевом культур и повторным определением чувствительности. Результаты показали, что после воздействия родиолы розовой и левзеи сафлоровидной происходило снижение резистентности *Escherichia coli* к цефалоспорином (цефтазидиму, цефтриаксону и цефиксиму) на 3...43 % в зависимости от антимикробного препарата и исследуемого фактора. К имепенему (карбопенем) повысилась чувствительность на 13...16 %. К аминогликозидам и фторхинолонам чувствительность под действием адаптогенов менялась не всегда и очень незначительно в пределах от 3 до 9 %. Необходимы дальнейшие исследования для выяснения потенциальных рисков или преимуществ применения растительных адаптогенов в контексте антимикробной резистентности.

**Ключевые слова:** антибиотикорезистентность, энтеробактерии, антибиотики, адаптогены растительного происхождения

© Шульга И.С., Остякова М.Е., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

**Вклад авторов:** Шульга И.С. — формирование идеи, методология, проведение исследования, анализ данных, написание и редактирование рукописи; Остякова М.Е. — научное руководство, написание и редактирование рукописи.

**Финансирование.** Исследование выполнено в рамках государственного задания FNGS-2025-0001 «Научно-практические аспекты диагностики, профилактики и терапии болезней животных, птиц и пчел инфекционной и неинфекционной этиологии».

**Заявление о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**История статьи:** поступила в редакцию 30 апреля 2025 г., принята к публикации 5 июня 2025 г.

**Для цитирования:** Шульга И.С., Остякова М.Е. Влияние родиолы розовой и левзеи сафлоровидной на резистентность *E. coli* к антибиотикам // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2025. Т. 20. № 4. С. 670–680. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-670-680 EDN: CNBPMU

## The effect of *Rhodiola Rosea* and *Leuzea carthamoides* on the antibiotic resistance of *E. coli*

Irina S. Shulga , Marina E. Ostyakova  

Far East Zone Research Veterinary Institute, *Blagoveshchensk, Russian Federation*

 dalznividv@mail.ru

**Abstract.** Bacteria are constantly evolving, becoming resistant to antibiotics. Antimicrobial resistance is a complex problem arising from the adaptive capabilities of bacteria and their rapid spread among microorganisms, making the treatment of infections increasingly difficult. *Escherichia coli* is a bacterium of the *Enterobacteriaceae* family, it has clinical and epidemiological significance. The bacterium is one of the reservoirs for antibiotic resistance genes and for this reason has been classified by the World Health Organization as a pathogen posing a threat to public health. Herbal medicines and their components possess properties that can alter the resistance of microorganisms to antimicrobial drugs. The effect of plant adaptogens on the resistance of microorganisms to antibiotics is insufficiently studied. An *in vitro* study was conducted to examine the impact of *Rhodiola rosea* and *Leuzea carthamoides* on the susceptibility level of *Escherichia coli* to various antimicrobial drugs. *Escherichia coli* cultures were obtained from calves with symptoms of acute intestinal diseases. Susceptibility to 12 antimicrobial drugs from five groups was determined, including penicillins, carbapenems, cephalosporins, aminoglycosides, and fluoroquinolones. The effect of *Rhodiola rosea* and *Leuzea carthamoides* was studied by co-incubating *Escherichia coli* cultures with a decoction of adaptogen roots, followed by re-culturing the isolates and re-determining susceptibility. The results showed that after exposure to *Rhodiola rosea* and *Leuzea carthamoides*, the resistance of *Escherichia coli* to cephalosporins (ceftazidime, ceftriaxone, and cefixime) decreased by 3–43%, depending on the antimicrobial drug and the studied factor. Susceptibility to imipenem (a carbapenem) increased by 13–16%. Susceptibility to aminoglycosides and fluoroquinolones changed only occasionally and very slightly (within 3–9%) under the influence of the adaptogens. Further research is needed to clarify the potential risks or benefits of using plant adaptogens in the context of antimicrobial resistance.

**Keywords:** antibiotic resistance, enterobacteria, antibiotics, plant-based adaptogens

**Author contributions:** Shulga I.S. — concept, methodology, investigation, data analysis, writing and editing of the manuscript; Ostyakova M.E. — scientific supervision, writing and editing of the manuscript.

**Funding.** The research was carried out within the framework of the state assignment FNGS-2025-0001 “Scientific and Practical Aspects of the Diagnosis, Prevention, and Therapy of Diseases of Animals, Birds, and Bees of Infectious and Non-Infectious Etiology”.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interest.

**Article history:** received 30 April 2025; accepted 5 June 2025.

**For citation:** Shulga IS, Ostyakova ME. The effect of *Rhodiola Rosea* and *Leuzea carthamoides* on the antibiotic resistance of *E. coli*. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(4):670–680. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-670-680 EDN: CNBPMU

## Введение

С момента открытия антибиотиков принесли огромную пользу человечеству. Однако возникновение и распространение лекарственной устойчивости у микроорганизмов представляет собой серьезную угрозу и требует поиска механизмов управления устойчивостью к противомикробным препаратам и поиска путей ее снижения [1]. Причиной возникновения и развития этого феномена является неоправданное и нерациональное использование антимикробных препаратов [2].

Среди поголовья сельскохозяйственных животных циркулируют патогенные и условно-патогенные микроорганизмы, обладающие резистентностью к антибиотикам. Это увеличивает риск передачи потенциально опасных инфекций от животных к человеку [2, 3].

В преодолении резистентности огромную роль играет персональный подход к мониторингу антибиотикочувствительности микроорганизмов и выбору антимикробных препаратов. Однако в условиях промышленного животноводства реализовать такой подход сложно. Необходимый мониторинг бактериологической ситуации зачастую отсутствует.

Некоторые антимикробные препараты являются последним средством лечения опасных для жизни инфекций. Важно рассматривать любые возможности снижения резистентности микроорганизмов, чтобы блокировать или замедлить передачу механизмов резистентности и сохранить препараты

*Escherichia coli* (эшерихия) — грамотрицательная бактерия семейства *Enterobacteriaceae* — имеет клиническую и эпидемиологическую значимость, является одним из резервуаров генов устойчивости к антибиотикам, представлена Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) как один из возбудителей оппортунистических инфекций, создающих наибольшую угрозу для общественного здравоохранения, и требуют разработки новых антибиотиков. За последнее десятилетие (отмечают Anand U. et al., Arbab S. et al., Paitan Y.) появился ряд штаммов с высокой степенью лекарственной устойчивости, которые демонстрируют повышенную приспособленность, патогенность, способность к эффективной передаче и колонизации [1, 4, 5].

Анализ доступных научных источников показал, что растительные лекарственные средства и их компоненты обладают свойствами изменять устойчивость микроорганизмов к антимикробным препаратам [6, 7]. Богатое разнообразие лекарственных растений, в частности растительных адаптогенов, представляет определенный интерес в этой области.

С этой точки зрения растительные средства могут не только служить альтернативным способом, направленным на подавление роста микробов, но и являться агентом, способным модифицировать резистентность микроорганизмов [8, 9]. Кроме того, фитоконпоненты могут использоваться для борьбы с резистентностью, с меньшими побочными эффектами и более мощным механизмом действия [9].

Родиола розовая и левзея сафлоровидная — адаптогены растительного происхождения относятся к разделу фитотерапии.

Научных данных о влиянии этих адаптогенов в отношении снижения резистентности микроорганизмов нами найдено не было. Поэтому **цель исследования** — изучить влияние родиолы розовой и левзеи сафлоровидной на возможные изменения резистентности *Escherichia coli* к антимикробным препаратам.

## Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследований использовали культуры *Escherichia coli*, циркулирующие в условиях животноводческого комплекса среди телят с симптомами острых кишечных заболеваний.

Влияние адаптогенов на изменение устойчивости к антибактериальным препаратам изучали путем соинкубирования культур *Escherichia coli* (предварительно выращенных на мясопептонном бульоне) с отварами корней адаптогенов в условиях шейкер-инкубатора в течение 60 минут при 37 °С. В дальнейшем смесь центрифугировали (3000 оборотов в минуту), культуру двукратно отмывали физиологическим раствором и пересевали на скошенный мясопептонный агар. После воздействия определяли устойчивость к антимикробным препаратам [10]. Контролем служили значения устойчивости у этих же культур, полученные без влияния адаптогенов.

Устойчивость определяли диско-диффузионным методом к 12 антимикробным препаратам из пяти групп: пенициллины, карбопенемы, цефалоспорины, аминогликозиды, фторхинолоны, руководствуясь Методическими указаниями МУК 4.2.1890–04<sup>1</sup>. Оценку результатов проводили согласно значениям диаметров зон задержки роста у исследуемых культур.

С каждой культурой проводили опыт в трех повторностях. Полученные результаты подвергали статистической обработке, используя программу Microsoft Excel 2010.

## Результаты исследования и обсуждение

В процессе изучения установлено, что *Escherichia coli*, выделенные от телят с симптомокомплексом болезней органов пищеварения, имели разный уровень выраженности чувствительности к исследуемым группам препаратов и в пределах одной группы антимикробных средств.

Так, к ампициллину, принадлежащему к группе антибиотиков пенициллинового ряда, *Escherichia* проявляли устойчивость в 80 % случаев. К тикарциллину

<sup>1</sup> МУК 4.2.1890–04. Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам: методические указания. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 91 с.

в комплексе с клавулановой кислотой были чувствительны в 100 % случаев. Амоксициллин с клавулановой кислотой действовал подавляюще на 20 % *Escherichia coli*, 80 % обладали промежуточной чувствительностью.

Имипенем (группа карбопенемов) имел высокую активность. Все культуры *Escherichia coli* были чувствительны к имипенему.

Менее высокими были показатели чувствительности к цефтриаксону, являющемуся представителем группы антимикробных препаратов цефалоспоринового ряда. Так культуры *Escherichia coli* в 40 % случаев были чувствительными и в 60 % проявляли промежуточную чувствительность. Цефиксим так же относится к антибиотикам группы цефалоспоринов. К нему *Escherichia coli* в 20 % случаев были чувствительны, в 40 % случаев проявляли промежуточную чувствительность, и у 40 % культур отмечалась абсолютная резистентность. К цефтазидиму выявлена устойчивость у 80 % эшерихий и у 20 % культур данный препарат подавлял рост.

К стрептомицину, представителю группы аминогликозидов, в 100 % случаев оказались устойчивы все культуры *Escherichia coli*. Гентамицин так же является представителем группы аминогликозидов. К нему эшерихии были чувствительны в 80 % случаев.

Разная чувствительность наблюдалась у бактерий к препаратам фторхинолонового ряда. К ципрофлоксацину в большинстве случаев эшерихии чувствительны в 80 % случаев, в 20 % — устойчивы. К левофлоксацину 80 % эшерихий обладали абсолютной чувствительностью и 20 % — промежуточной.

После проведения математической обработки цифровых показателей зон задержки роста установлено, что в среднем эшерихии были чувствительны к тикарциллину и амоксициллину с клавулановой кислотой, имепенему, гентамицину, ципрофлоксацину, левофлоксацину и норфлоксацину (табл.).

### Значение диаметров зон подавления роста у *Escherichia coli* к антибактериальным препаратам диско-диффузионным методом до влияния адаптогенов $M \pm m, n = 15$

| Наименование антимикробного препарата  | Зона задержки роста, мм |
|--|-------------------------|
| 1. Ампициллин                          | 10,9 ± 1,00             |
| 2. Тикарциллин + клавулановая кислота  | 23,4 ± 0,31             |
| 3. Амоксициллин + клавулановая кислота | 18,3 ± 0,32             |
| 4. Имипенем                            | 24,1 ± 0,34             |
| 5. Цефтриаксон                         | 17,7 ± 1,35             |
| 6. Цефиксим                            | 14,8 ± 1,02             |
| 7. Цефтазидим                          | 10,8 ± 0,82             |
| 8. Стрептомицин                        | 9,2 ± 0,37              |
| 9. Гентамицин                          | 19,5 ± 1,35             |
| 10. Ципрофлоксацин                     | 21,1 ± 1,40             |
| 11. Левофлоксацин                      | 23,7 ± 1,11             |
| 12. Норфлоксацин                       | 21,5 ± 0,52             |

Источник: выполнено И.С. Шульга, М.Е. Остяковой в программе Microsoft Word 2010.

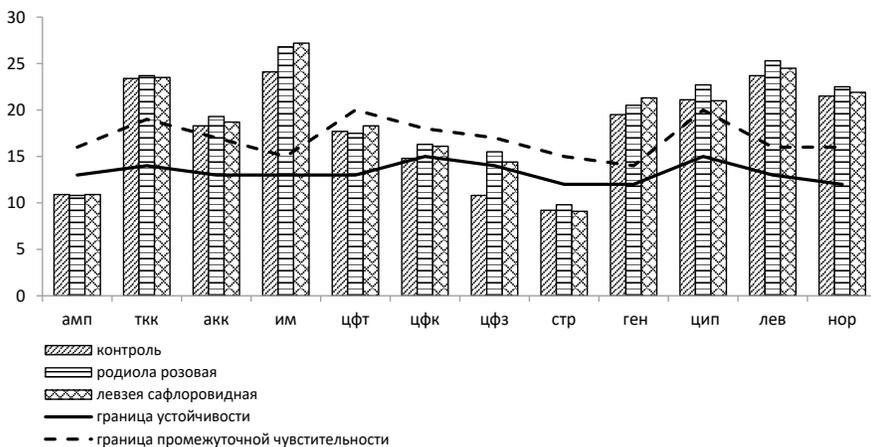
**The value of the diameters of growth suppression zones in *Escherichia coli* to antibacterial drugs by the disco-diffusion method before the influence of adaptogens  $M \pm m, n = 15$**

| Name of the antimicrobial drug   | Inhibition zone, mm |
|----------------------------------|---------------------|
| 1. Ampicillin                    | 10.9 ± 1.00         |
| 2. Ticarcillin + Clavulanic Acid | 23.4 ± 0.31         |
| 3. Amoxicillin + Clavulanic Acid | 18.3 ± 0.32         |
| 4. Imipenem                      | 24.1 ± 0.34         |
| 5. Ceftriaxone                   | 17.7 ± 1.35         |
| 6. Cefixime                      | 14.8 ± 1.02         |
| 7. Ceftazidim                    | 10.8 ± 0.82         |
| 8. Streptomycin                  | 9.2 ± 0.37          |
| 9. Gentamicin                    | 19.5 ± 1.35         |
| 10. Ciprofloxacin                | 21.1 ± 1.40         |
| 11. Levofloxacin                 | 23.7 ± 1.11         |
| 12. Norfloxacin                  | 21.5 ± 0.52         |

Source: compiled by I.S. Shulga, M.E. Ostyakova in Microsoft Word 2010.

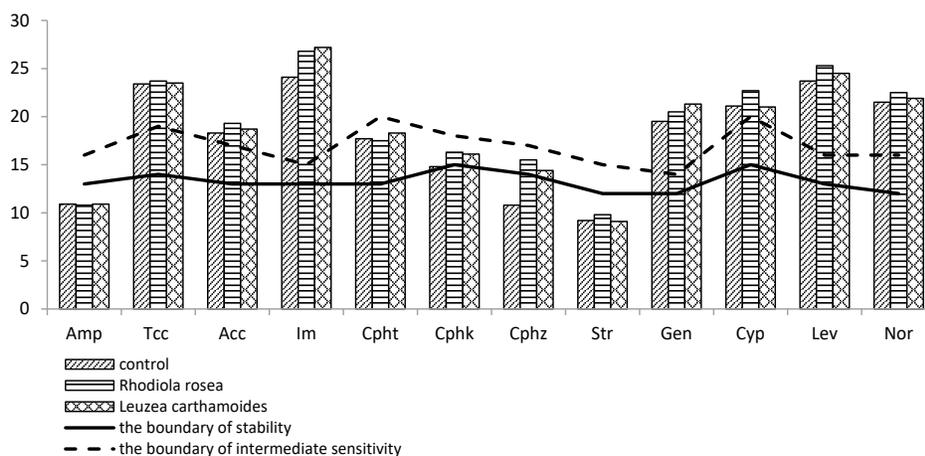
К цефтриаксону *Escherichia coli* обладали промежуточной чувствительностью. Устойчивость отмечается к ампициллину, цефиксиму, цефтазидиму и стрептомицину.

Для сравнительной оценки изменения антибиотикочувствительности культур *Escherichia coli* до и после воздействия на них адаптогенов (рис.) мы также использовали усредненные цифровые данные.



Значение диаметров зон подавления роста при определении чувствительности энтеробактерий рода *Escherichia coli* к антибактериальным препаратам диско-диффузионным методом до и после влияния адаптогенов  $M \pm m, n = 15$ : амп – ампициллин; ттк – тикарциллин с клавулановой кислотой; акк – амоксициллин с клавулановой кислотой; им – имипенем; цфт – цефтриаксон; цфк – цефиксим; цфз – цефтазидим; стр – стрептомицин; ген – гентамицин; цип – ципрофлоксацин; лев – левофлоксацин; нор – норфлоксацин

Источник: выполнено И.С. Шульга, М.Е. Остяковой в программе Microsoft Word 2010.



Values of the diameters of inhibition zones in the determination of susceptibility of *Escherichia coli* enterobacteria to antibacterial drugs by the disk diffusion method before and after the influence of adaptogens *M ± m*, mm,  $n = 15$ : Amp – ampicillin; Tcc – ticarcillin with clavulanic acid; Acc – amoxicillin with clavulanic acid; Im – imipenem; Cpht – ceftriaxone; Cphk – cefixime; Cphz – ceftazidime; Str – streptomycin; Gen – gentamicin; Cyp – ciprofloxacin; Lev – levofloxacin; Nor – norfloxacin

Source: compiled by I.S. Shulga, M.E. Ostyakova in Microsoft Word 2010.

Из анализа следует, что адаптогены ни к одному антибиотику чувствительность не снижали.

Отвар корня родиолы розовой не изменяет чувствительности *Escherichia coli* к антибиотикам пенициллинового ряда. Она была и оставалась высокой к тикарциллину и амиксциллину в сочетании с клавуналовой кислотой, к ампициллину резистентность сохранилась.

К имипенему данный адаптоген увеличивал зону задержки роста на 16 %, чувствительность остается также высокой.

К антибиотикам цефалоспоринового ряда по-разному меняется чувствительность при воздействии корней родиолы розовой. Так, например, чувствительность к цефтриаксону остается промежуточной, зона задержки роста практически не меняется. К цефиксиму и цефтазидиму устойчивость снизилась на 10 и 43 % соответственно и стала промежуточной.

К аминогликазидам чувствительность под воздействием корней родиолы розовой у *Escherichia coli* не меняется. К антибиотикам фторхинолонового ряда чувствительность так же не изменяется, но зоны подавления роста бактериальной культуры увеличиваются при влиянии ципрофлоксацина и левофлоксацина на 7 % и норфлоксацина на 5 %.

Отвар корней левзеи сафлоровидной не изменяет чувствительности к антибиотикам группы пенициллинов. Значительно зоны задержки роста культур не изменяются. Данный показатель в отношении имипенема увеличивается на 13 %, но чувствительность изначально достаточно высока.

Чувствительность к цефалоспорином варьрует под воздействием левзеи. Так к цефтриаксону промежуточный уровень чувствительности остается прежним, изменяется зона задержки роста незначительно, на 3 %. К цефтазидиму исследуемые *Escherichia coli* резистентны и остаются таковыми, но уровень подавления роста культуры увеличивается на 33 %. Уровень устойчивости к цефиксиму у *Escherichia coli* повышается с абсолютной устойчивости до промежуточной чувствительности, зона задержки роста выросла на 9 %.

К аминогликозидам корень левзеи не изменил изначальной чувствительности *Escherichia coli*. Резистентность к стрептомицину сохраняется. Чувствительность к гентамицину остается высокой, при этом зона подавления роста увеличилась на 9 %.

К группе фторхинолонов чувствительность остается на высоком уровне, зоны задержки роста культуры *Escherichia coli* практически не подвергаются изменениям при предварительном воздействии на культуру отваром корня левзеи сафлоровидной.

Устойчивость к антибиотикам является сложной проблемой, поскольку бактерии постоянно эволюционируют, развивая механизмы, позволяющие им выживать даже при воздействии антимикробных препаратов. Бактерии вырабатывают устойчивость различными способами, часто используя несколько стратегий одновременно.

Механизмы устойчивости могут быть связаны с изменением мишени антибиотика (например, модификацию рибосом или ферментов), производством ферментов, инактивирующих антибиотик (например, бета-лактамазы), изменением проницаемости клеточной мембраны, препятствующим проникновению антибиотика, и активным выкачиванием антибиотика из клетки. Кроме того, устойчивость распространяется между бактериями через горизонтальный перенос генов, включая передачу плазмид, транспозонов и бактериофагов, это позволяет быстро распространять гены устойчивости среди различных видов бактерий. Вертикальный перенос генов также играет роль, передавая устойчивость от материнской клетки к дочерним. В результате устойчивость к антибиотикам ограничивает доступность эффективных методов борьбы с инфекциями [11–13].

Пенициллины, цефалоспорины и карбапенемы — бета-лактамы антибиотики, отличаются по спектру активности и устойчивости к бета-лактамазам. В этом аспекте полученные нами результаты согласуются с результатами других исследований [12, 14, 15].

К пенициллинам чувствительность у *Escherichia coli* после воздействия адаптогенов практически не изменилась независимо от их изначальной устойчивости/чувствительности к препарату. Цефтазидим, цефтриаксон и цефтриаксон — цефалоспорины третьего поколения, их устойчивость была различной, как до, так и после воздействия адаптогенов. Однако после воздействия происходило снижение резистентности *Escherichia coli* на 3...43 % в зависимости от антимикробного препарата и исследуемого фактора. К имепенему (карбопенем) повысилась чувствительность на 13...16 %. К аминогликозидам и фторхинолонам чувствительность под действием адаптогенов менялась не всегда и очень незначительно в пределах 3...9 %.

Считаем, что полученные результаты отражают уровень использования отдельных antimicrobных препаратов в исследуемом животноводческом хозяйстве, что отразилось в закреплении генетических детерминант устойчивости. Чрезмерное и нерациональное использование антибиотиков создает условия, позволяющие выживать и распространяться устойчивым штаммам бактерий.

## Заключение

Исследования влияния родиолы розовой и левзеи сафлоровидной на уровень чувствительности к пяти группам antimicrobных препаратов у *Escherichia coli*, проведенные *in vitro*, предоставляют сведения о возможном их практическом применении в борьбе с лекарственно-устойчивыми инфекциями, показывают потенциальные возможности, которые могут быть использованы для разработки комплексных препаратов antimicrobного действия, а также определяют актуальность дальнейших исследований в данном направлении.

## Список литературы

1. Anand U., Nandy S., Mundhra A., Das N., Pandey D.K., Dey A.A Review on antimicrobial botanicals, phytochemicals and natural resistance modifying agents from Apocynaceae family: possible therapeutic approaches against multidrug resistance in pathogenic microorganisms // Drug Resistance Updates. 2020. Vol. 51. P. 100695. doi: 10.1016/j.drug.2020.100695 EDN: GXRBEW
2. Шкиль Н.Н. Антибиотикорезистентность микроорганизмов и пути ее преодоления в ветеринарии // Труды международной научной онлайн-конференции «АгроНаука-2020»: сб. статей, Новосибирск, 05–06 ноября 2020 г. / Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Государственная публичная научно-техническая библиотека Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирский государственный аграрный университет. Новосибирск : Государственная публичная научно-техническая библиотека СО РАН, 2020. С. 198–202.
3. Boukli-Hacene F., Djouadi L.N., Raddaoui A., Hachem Y., Boumerdassi H., Achour W., Natche F. Sheep and goats as reservoirs of colistin-resistant *E. coli*: first detection of ETEC ST10 and *E. coli* ST6396 mcr-1 positive strains in North Africa // Journal of Applied Microbiology. 2024. Vol. 135. № 9. P. 227. doi: 10.1093/jambio/ixae227 EDN: AEDUSE
4. Arbab S., Ullah H., Wang W., Zhang J. Antimicrobial drug resistance against *Escherichia coli* and its harmful effect on animal health // Veterinary Medicine and Science. 2022. Vol. 8. № 4. P. 1780–1786. doi: 10.1002/vms3.825 EDN: YMAHBE
5. Paitan Y. Current trends in antimicrobial resistance of *Escherichia coli* // *Escherichia coli*, a Versatile Pathogen. Current Topics in Microbiology and Immunology / ed. by G. Frankel, E. Ron. 2018. Vol. 416. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/82\\_2018\\_110](https://doi.org/10.1007/82_2018_110)
6. de Sousa J.N., de Oliveira A.B., Ferreira A.K., Silva E., de Sousa L.M., França Rocha M.C., de J.P., Júnior S., William Kaatz G., da Silva Almeida J.R., de Souza J.S., Medeiros Barreto H. Modulation of the resistance to norfloxacin in *Staphylococcus aureus* by *Bauhinia forficata* link // Natural Product Research. 2021. Vol. 35. № 4. P. 681–685. doi: 10.1080/14786419.2019.1590714
7. Uc-Cachón A.H., Dzul-Beh A.J., Palma-Pech G.A., Jiménez-Delgado B., Flores-Guido J.S., Gracida-Osorno C., Molina-Salinas G.M. Antibacterial and antibiofilm activities of Mayan medicinal plants against Methicillin-susceptible and -resistant strains of *Staphylococcus aureus* // Journal of Ethnopharmacology. 2021. Vol. 279. P. 114369. doi: 10.1016/j.jep.2021.114369 EDN: XYUPWV
8. Křížková B., Hoang L., Brdová D., Klementová K., Szemerédi N., Loučková A., Kronusová O., Spengler G., Kaštánek P., Hajšlová J., Viktorová J., Lipov J. Modulation of the bacterial virulence and resistance by well-known European medicinal herbs // Journal of Ethnopharmacology. 2023. Vol. 312. P. 116484. doi: 10.1016/j.jep.2023.116484 EDN: NZCYGD

9. Goel R., Tomar A., Bawari S. Insights to the role of phytoconstituents in aiding multi drug resistance — Tuberculosis treatment strategies // *Microbial Pathogenesis*. 2025. Vol. 198. P. 107116. doi: 10.1016/j.micpath.2024.107116 EDN: RALEQZ
10. Шульга И.С., Остякова М.Е. Перспектива снижения антибиотикорезистентности с помощью растительных лекарственных средств у *Escherichia coli* // *Вестник аграрной науки*. 2024. № 3 (108). С. 80–86. doi: 10.17238/issn2587-666X.2024.3.80 EDN: MBACBG
11. Гаврилова И.А., Бусик С.В., Слизень В.В. Антимикробная резистентность *Escherichia coli*, выделенных от пациентов с инфекциями мочевыводящих путей и беременных женщин // *Здравоохранение (Минск)*. 2020. № 4 (877). С. 5–13. EDN: AFVETK
12. Отамуратова Н.Х., Абдухалилова Г.К. Динамика резистентности уропатогенных штаммов *Escherichia coli* к антибактериальным препаратам // *Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия*. 2024. Т. 26. № 2. С. 236–240. doi: 10.36488/смас.2024.2.236-240 EDN: DKCSBY
13. Салахова Д.Н., Роцин Ф.А., Актулаева Х.Р. Антибиотикорезистентность. Механизмы формирования, способы борьбы и профилактики // *Развитие современной молодежной науки: опыт теоретического и эмпирического анализа : сб. статей II Междунар. науч.-практ. конф., Петрозаводск, 21 июня 2021 г. Петрозаводск : Международной центр научного партнерства «Новая Наука», 2021. С. 262–268.*
14. Ахаева Т.А., Сейталиева А.М., Кудайбергенова А., Кайранова Г., Сарсенова Л.К., Жусупова Г.Д., Мусажанова Ж., Аль-Тамими З. Ретроспективное исследование резистентности *E.coli* к антибиотикам у больных инфекционными заболеваниями на примере г. Алматы // *Фармация Казахстана*. 2023. № 5. С. 223–230. doi: 10.53511/pharmkaz.2023.80.40.028 EDN: AEFJKW
15. Демченко А.И. Антибиотикорезистентность *Enterobacteriaceae*. Методы определения и решения проблемы антибиотикорезистентности *Enterobacteriaceae* // *Forcipe*. 2020. Т. 3. № S1. С. 464–465. EDN: AECFLI

## References

1. Anand U, Nandy S, Mundhra A, Das N, Pandey DK, Dey A. A review on antimicrobial botanicals, phytochemicals and natural resistance modifying agents from Apocynaceae family: possible therapeutic approaches against multidrug resistance in pathogenic microorganisms. *Drug Resistance Updates*. 2020;51:100695. doi: 10.1016/j.drug.2020.100695 EDN: GXRBEW
2. Shkil NN. Antibiotic resistance of microorganisms and ways to overcome it in veterinary medicine. *Trudy Mezhdunarodnoi nauchnoi onlain-konferentsii «AgroNauka-2020» [Proceedings of the international scientific online conference “AgroNauka2020”]*. 2020;198–202. (In Russ.).
3. Boukli-Hacene F, Djouadi LN, Raddaoui A, et al. Sheep and goats as reservoirs of colistin-resistant *E. coli*: first detection of ETEC ST10 and *E. coli* ST6396 mcr-1 positive strains in North Africa. *Journal of Applied Microbiology*. 2024;135(9):227. doi: 10.1093/jambio/lxae227 EDN: AEDUSE
4. Arbab S, Ullah H, Wang W, Zhang J. Antimicrobial drug resistance against *Escherichia coli* and its harmful effect on animal health. *Veterinary Medicine and Science*. 2022;8(4):1780–1786. doi: 10.1002/vms3.825 EDN: YMAHBE
5. Paitan Y. Current trends in antimicrobial resistance of *Escherichia coli*. *Current Topics in Microbiology and Immunology*. 2018;416:181–211. doi: 10.1007/82\_2018\_110
6. de Sousa JN, de Oliveira ABM, Ferreira AK, et al. Modulation of the resistance to norfloxacin in *Staphylococcus aureus* by *Bauhinia forficata* link. *Natural Product Research*. 2021;35(4):681–685. doi: 10.1080/14786419.2019.1590714
7. Uc-Cachón AH, Dzul-Beh AJ, Palma-Pech GA, et al. Antibacterial and antibiofilm activities of Mayan medicinal plants against Methicillin-susceptible and -resistant strains of *Staphylococcus aureus*. *Journal of Ethnopharmacology*. 2021;279:114369. doi: 10.1016/j.jep.2021.114369 EDN: XYUPWV
8. Křížková B, Hoang L, Brdová D, et al. Modulation of the bacterial virulence and resistance by well-known European medicinal herbs. *Journal of Ethnopharmacology*. 2023;312:116484. doi: 10.1016/j.jep.2023.116484 EDN: NZCYGD
9. Goel R, Tomar A, Bawari S. Insights to the role of phytoconstituents in aiding multi drug resistance — Tuberculosis treatment strategies. *Microbial Pathogenesis*. 2025;198:107116. doi: 10.1016/j.micpath.2024.107116 EDN: RALEQZ

10. Shulga IS, Ostyakova ME. Prospect of reducing antibiotic resistance in *Escherichia coli* with herbal medicines. *Bulletin of Agrarian Science*. 2024;(3):80–86. (In Russ.). doi: 10.17238/issn2587-666X.2024.3.80 EDN: MBACBG
11. Gavrilova IA, Busik SV, Slug VV. Antibiotic resistance of *Escherichia coli* separated from women having urinary tracts infections and from pregnant women. *Healthcare (Minsk)*. 2020;(4):5–13. (In Russ.). EDN: AFVETK
12. Otamuratova NH, Abdukhalilova GK. Dynamics of antimicrobial resistance of uropathogenic isolates of *Escherichia coli*. *Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy*. 2024;26(2):236–240. (In Russ.). doi: 10.36488/cmac.2024.2.236-240 EDN: DKCSBY
13. Salakhova DN, Roshchin FA, Aktulaeva Kh R. Antibiotic resistance. Mechanisms of formation, methods of control and prevention. *Razvitie sovremennoi molodezhnoi nauki: opyt teoreti-cheskogo i ehmpiricheskogo analiza: sb. statei II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Development of modern youth science: experience of theoretical and empirical analysis: collection of articles of the II International Scientific and Practical Conference]* Petrozavodsk: International Center for Scientific Partnership “New Science”. 2021;262–268. (In Russ.).
14. Akhayeve TA, Seitalieva AM, Kudaibergenova A. Retrospective study of *E. Coli* resistance to antibiotics in patients with infectious diseases on the example of Almatya. *Pharmacy of Kazakhstan*. 2023;(5):223–230. (In Russ.). doi: 10.53511/pharmkaz.2023.80.40.028 EDN: AEFJKW
15. Demchenko AI. Antibiotic Resistance of Enterobacteriaceae. Methods for determining and solving the problem of antibiotic resistance of Enterobacteriaceae. *Forcipe*. 2020;3(S1):464–465. (In Russ.). EDN: AECFLl

#### Об авторах:

Шульга Ирина Станиславовна — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела микробиологии, вирусологии и иммунологии, Дальневосточный зональный научно-исследовательский ветеринарный институт, Российская Федерация, 675005, г. Благовещенск, ул. Северная, д. 112; e-mail: shulga-1975@mail.ru

ORCID: 0000-0003-2514-3879 SPIN-код: 7451-6886

Остякова Марина Евгеньевна — доктор биологических наук, доцент, директор, Дальневосточный зональный научно-исследовательский ветеринарный институт, Российская Федерация, 675005, г. Благовещенск, ул. Северная, д. 112; e-mail: dalznividv@mail.ru

ORCID: 0000-0002-2996-0991 SPIN-код: 3038-0685

#### About the authors:

Shulga Irina Stanislavovna — Candidate of Biology, Leading Researcher, Department of Microbiology, Virology, and Immunology, Far East Zone Research Veterinary Institute, 112 Severnaya St., Blagoveshchensk, 675005, Russian Federation; e-mail: shulga-1975@mail.ru

ORCID: 0000-0003-2514-3879 SPIN-code: 7451-6886

Ostyakova Marina Evgenievna — Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Director, Far East Zone Research Veterinary Institute, 112 Severnaya St., Blagoveshchensk, 675005, Russian Federation; e-mail: dalznividv@mail.ru

ORCID: 0000-0002-2996-0991 SPIN-code: 3038-0685